Aus dem Pathologischen Institut der Philipps-Universität

Marburg / Lahn

Damaliger Direktor: Prof. Dr. med. W. Hort

POSTMORTALE KORONARANGIOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS KALIBER DER KRANZARTERIEN DES MENSCHLICHEN HERZENS

INAUGURAL—DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin

der Pilipps-Universität Marburg

vorgelegt von

HELMUT LICHTI

aus Karlsruhe

Marburg 1978

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546009_0084

Aus dem Pathologischen Institut der Philipps-Universität

Marburg / Lahn

Damaliger Direktor: Prof. Dr. med. W. Hort

POSTMORTALE KORONARANGIOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS KALIBER DER KRANZARTERIEN DES MENSCHLICHEN HERZENS

INAUGURAL—DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin

der Pilipps-Universität Marburg

vorgelegt von

HELMUT LICHTI

aus Karlsruhe

Marburg 1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Universität Marburg am 27.10.1978
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof.Dr.Neurath
Referent: Prof.Dr.Hort
Coreferent: Prof.Dr.Kalbfleisch

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I. Einleitung 1

II. Methodik 4

2.1. Untersuchungsgut 4
2.2. Koronarangiographie 4
2.3. Röntgenaufnahmen 4
2.4. Makroskopische und histologische Beurteilung der Gefäße 8
2.5. Messung der lichten Weite der Koronargefäße an den Röntgenbildern 8
2.5.1. Meßlupe 8
2.5.2. Meßpunkte 8
2.6. Bestimmung des Herzgewichtes und der Größe des Versorgungsgebiets 10
2.7. Fehlerquellen bei der Größenbestimmung der Gefäßdurchmesser 10
2.8. Statistische Auswertung 16

III. Ergebnisse 18

3.1. Altersabhängigkeit der Weite der Herzkranzgefäße der Erwachsenenherzen 18
3.2. Die Abhängigkeit der Weite der Herzkranzgefäße vom Kammerteilgewicht 25
3.3. Die relative Gefäßweite und ihre Abhängigkeit vom Kammerteilgewicht 36

Seite

3.4. Der Durchmesser der Kranzarterien in seiner Beziehung zur dritten Wurzel des Kammerteilgewichts 43
3.5. Die absolute und relative Gefäßweite und ihre Abhängigkeit vom Kammerteilgewicht von Kinderherzen 44
3.6. Weite der Herzkranzgefäße und Größe des zugehörigen Versorgungsgebiets 49

IV. Diskussion 57

V. Zusammenfassung 86

VI. Anhang 89

VII. Literaturverzeichnis 91

I. EINLEITUNG

Mit der ständig steigenden Zahl der Herz- und Kreislauferkrankungen in den Industrienationen nahmen auch unsere Kenntnisse über die pathologischen, pathophysiologischen und klinischen Zusammenhänge der Koronarsklerose und des Herzinfarkts zu. So können wir uns trotz vieler heute noch offener Fragen ein recht genaues Bild von der pathologischen Entwicklung vom Beginn der Koronarsklerose bis hin zum Myokardinfarkt machen (SCHOENMACKERS (1963), HORT (1969), BÜCHNER (1970)).
Die wichtigsten Risikofaktoren sind uns heute dank genauer epidemiologischer Studien recht gut bekannt (HEYDEN (1974)). Zum anderen sind eindrucksvolle Methoden der Diagnostik und Therapie entwickelt worden, wie wir sie heute zum Beispiel in der selektiven Koronarangiographie (MICHEL u. MITARB. (1976)), Perfusionsszintigraphie des Myokards (FELIX et al. (1974, 1975)) oder als koronare Bypassoperation kennen.

Umso erstaunlicher ist die Tatsache, daß gerade so grundlegende Fragestellungen wie das Verhältnis der Weite der Herzkranzgefäße zum Herzgewicht, zum Alter und zum myokardialen Versorgungsgebiet bisher nur selten untersucht worden sind.
Dabei müssen wir davon ausgehen, daß ein zentraler Punkt zum Verständnis der Koronarerkrankungen und der myokardialen Ischämie die lichte Weite der Herzkranzgefäße ist.
Dieses Lumen ist sicherlich keine konstante, unveränderliche Größe, sondern sie ist - abgesehen vom Grad der Arteriosklerose - in Grenzen durch komplizierte, nur zum Teil aufgeklärte physiologische Mechanismen kurzzeitig veränderbar, wie z. B. durch den Blutdruck, die

O_2-Spannung des Koronarbluts, den unterschiedlichen myokardialen Druck bei der Herzaktion und, wie jüngst RODBARD (1975) gezeigt hat, durch die Durchflußmenge pro Zeiteinheit. Außerdem läßt sich das Koronargefäßbett medikamentös beeinflussen.

Alle diese Veränderungsmöglichkeiten können wir jedoch als momentane physiologische oder pathologische Abweichung von einer jedem einzelnen Herzen als mittlere oder normale anatomische Gefäßweite zugeordnete konstante Größe betrachten. Dieser anatomischen Größe, die sich längerfristig allerdings während des normalen Wachstums oder durch sklerotische Stenosierungen der Koronargefäße ändern kann, ist bisher vergleichsweise wenig Beachtung geschenkt worden.

Wenn man kurz die bisherige Literatur betrachtet, muß man feststellen, daß manche Arbeiten über dieses Thema nur kursorische Angaben enthalten. Dieses trifft vor allem für die älteren Untersuchungen zu. Beispielsweise vergleicht CRAINICIANU (1921) an 100 unausgewählten Herzen die Weite der rechten und linken Kranzarterien ohne Angabe von Absolutwerten und RÖSSLE und ROULET (1932) erwähnen nur kurz, daß "die schweren Herzen im allgemeinen auch größere Kranzgefäße besitzen."Bei anderen Arbeiten überraschen dagegen die unterschiedlichen Angaben in Bezug auf die Frage des Wachstums der Herzkranzgefäße jenseits des kritischen Herzgewichtes und der Altersabhängigkeit der Weite der nicht sklerotischen Koronargefäße. So finden einige Autoren(MILLES u. DALESSANDRO (1963), ROSE (1967), ORLANDINI (1968), RESTREPO u. MITARB. (1968)) ein weiteres Wachstum der Gefäße auch nach dem 30. Lebensjahr, während andere (RÖSSLE u. ROULET (1932), VOGELBERG (1957), RABE (1973), PAULSEN u. MITARB. (1975)) diesen Tatbestand bestreiten.

Auch in Bezug auf die Gewichtsabhängigkeit bestehen beträchtliche Diskrepanzen. Das von LINZBACH (1947) definierte kritische Herzgewicht von 500 g wurde von SCHOENMACKERS (1948,1949) auch für die Gefäßversorgung des Herzens bestätigt. HARRISON und WOOD (1949) schließen dagegen anhand von 37 postmortalen Koronarangiographien auf ein dem Herzgewicht proportionales Wachstum der Kranzarterien.

Über die Lichtungsweite der Koronararterien bei Feten, Neugeborenen und Kindern existiert bisher keine systematische Untersuchung. Die Weite der einzelnen Koronargefäße und die Größe ihres zugehörigen Versorgungsgebietes wurde bisher nur in zwei Arbeiten beschrieben (WOODS (1961), STELMASIAK u. OSEMLAK (1972)).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit folgenden Fragen:

1. Wie verhält sich die Weite nicht sklerotischer Herzkranzgefäße in verschiedenen Altersgruppen ?
2. Vergrößert sich das Lumen nicht-sklerotischer und sklerotischer Gefäße proportional mit dem Anwachsen des Kammerteilgewichts des Herzens ?
3. Bleibt die relative Gefäßweite, d. h. die Summe der größten Querschnittsfläche aller drei Koronargefäße pro Gramm Kammerteilgewicht bei steigendem Herzgewicht annähernd konstant ? Oder gibt es einen anderen Parameter der eine bessere Parallelität aufweist ?
4. Wie groß ist die Gefäßweite bei Feten und Kindern ?
5. Wie korreliert die Weite der Koronararterien bei Vorhandensein bzw. Fehlen von Arteriosklerose mit ihrem jeweiligen Versorgungsgebiet ?

II. METHODIK

2.1. Untersuchungsgut

Seit 1972 wurden am pathologischen Institut der Universität Marburg/Lahn an zahlreichen menschlichen Herzen postmortale Koronarangiographien durchgeführt. Die Auswahlkriterien der sezierten Herzen waren außer einer Serie von 50 Sektionen, bei denen jedes Herz angiographiert wurde, die klinischen Angaben und die makroskopischen Befunde der Herzen.
Herzen mit koronaren Herzerkrankungen wurden bevorzugt injiziert. Von den Herzen wurden insgesamt 300 für die vorliegende Arbeit ausgewertet. Darunter befanden sich 25 Herzen von Feten und Kindern bis zu einem Alter von 10 1/2 Jahren. Ihr Herzgewicht lag zwischen 2,9 und 185 Gramm. Die 275 Erwachsenenherzen wogen zwischen 170 und 1110 Gramm. 188 Herzen wurden männlichen, 112 weiblichen Leichen entnommen, deren Alter zwischen 15 und 81 Jahren lag.

2.2. Koronarangiographie

Die Herzen wurden unter Belassung einer möglichst breiten Aortenmanschette von den Brustorganen abpräpariert. Zunächst wurde mit Hilfe einer Pinzette und durch mehrmaliges Ausspülen mit Leitungswasser die Kammern und Vorhöfe von allen Blutkoageln gereinigt. Zur Inspektion wurde ein Trichter über die Venae cavae bzw. die rechten oder linken Lungenvenen eingeführt, wodurch ein guter Überblick über die Vorhöfe und Kammern gewonnen wurde. Eventuell noch vorhandene Koagel wurden hierbei entfernt.

Nach Messen der Kammervolumina durch Auffüllen der Ventrikel mit Leitungswasser unter Sicht bis zur Klappenebene wurden die Herzkranzgefäße möglichst bald nach der Entnahme injiziert. Dabei wurden zwei verschiedene Methoden angewendet.

Bei der ersten Methode, der sogenannten Aortenfüllung, wurde ein Gummipfropfen derart in die Aorta eingebracht, daß er unterhalb der Abgänge der Koronargefäße zu liegen kam und die Aorta gegen den linken Ventrikel dicht abschloß. Er wurde mit einer Schnur kräftig fixiert, die möglichst wandnah um die Aorta gezogen wurde, ohne diese jedoch zu verletzen.

Ein zweiter Gummistopfen wurde oberhalb der Koronarabgänge eingebunden. Dieser Stopfen besaß einen zuführenden Schlauch für die Entlüftung.

Nun wurden die Abtrennungsstellen an den Vorhöfen, in der Umgebung der Venen,mit einem Bunsenbrenner koaguliert, um damit einem Abfließen des Kontrastmittels, das in diesem Bereich besonders häufig vorkam, vorzubeugen.

Anschließend wurde das Herz in 40°C warme physiologische Kochsalzlösung gelegt und der zuführende Schlauch an einen Meßtrichter mit Verschlußhahn angeschlossen. Darin befand sich ebenfalls auf 40°C erwärmte NaCL-Lösung, die nun beim Öffnen des Hahnes in die Aorta und die Koronargefäße floß. Nach Abklemmen des Entlüftungsschlauches wurden das Kammermyokard, die Aorta und der zuführende Gummischlauch geknetet, um auf diese Weise eventuelle Luftblasen aus den Gefäßen und dem System zu entfernen.

Jetzt wurde die physiologische Kochsalzlösung durch eine Mischung aus Micropaque, einem $BaSO_4$-haltigen Kontrastmittel und Gelatine im Verhältnis 5:2 ersetzt.

Der Meßtrichter wurde nun mit einem weiteren Gummistopfen abgedichtet, der mit einem Blutdruckmeßgerät verbunden war.

Danach wurde der Injektionsdruck auf 100 mm Hg erhöht. Nach 10 Minuten wurde der zuführende Schlauch des Aortenstopfens abgeklemmt, von dem Meßtrichter entfernt und anschließend wurde das Herz zur Erhärtung des Kontrastmittel-Gelatine-Gemisches ca. 3 - 4 Stunden in einem Kühlschrank von +4°C Temperatur gelegt.
Dann wurden die Gummistopfen und das erhärtete Kontrastmittel aus der Aorta entfernt und die Kammern von eventuell dort vorhandenen Kontrastmittelresten gereinigt. Danach wurden die Vorhöfe und Kammern mit Schaumstoffstückchen ausgefüllt. Damit erhielten auch sehr schlaffe Herzen annähernd ihre ursprüngliche Form zurück.

Die zweite Art der Kontrastmittelinjektion wurde immer dann angewendet, wenn die Aorta perforiert war oder die Abdichtung im Bereich der Aorta aus anderen Gründen trotz mehrmaliger Versuche undicht war. Bei dieser sogenannten Koronareinbindung führte man Knopfkanülen in die rechte und linke Koronararterie ein und unterminierte die Gefäße stumpf möglichst nahe am Ostium. Auf diese Weise konnte um die Kranzgefäße eine Schnur gelegt werden, mit der man die Kanülen in den Gefäßen festbinden konnte. Der übrige Verlauf der Injektion entsprach dem der Aortenfüllung.
Der Unterschied zwischen diesen beiden Injektionsarten bestand darin, daß die bei einer Aortenfüllung deutlich dargestellten Koronarostien bei der Koronareinbindung nicht sichtbar waren.

2. 3. Röntgenaufnahmen

Die Belichtungsdauer schwankte je nach Größe zwischen 0,3 - 0,6 Minuten bei 100 KV und einem Film-Focus-Abstand von 117 cm. Zum einen wurde eine a.-p.-Aufnahme, zum anderen eine seitliche Aufnahme angefertigt,wobei hier die linke Kammer stets plattenah lag.
Bei der a.-p.-Aufnahme lag die Vorderwand plattenfern. Die Herzen wurden durch Schaumstoffkeile auf ihrer Unterlage fixiert. Die Herzspitze war sowohl auf der a.-p.-Aufnahme als auch auf der seitlichen Aufnahme meist leicht angehoben, um so einen annähernd parallelen Verlauf des linken absteigenden Astes zur Plattenebene zu gewährleisten.
Nach der Fertigstellung der Röntgenbilder in zwei Ebenen wurden die Herzen in 4%-iger Formalinlösung fixiert, anschließend die Vorhöfe von den Kammern abpräpariert und das Kammermyokard in ca. 8 mm dicke Scheiben parallel zur Klappenebene zerlegt. Auf diese Weise erhielt man zwischen 7 und 15 Myokardscheiben, die ebenfalls geröntgt wurden. An der ersten Scheibe konnte der größte Teil des Verlaufs der Arteria coronaria dextra (=R) und des Ramus circumflexus der Arteria coronaria sinistra (=LU) am besten verfolgt werden, während der Verlauf des Ramus descendens der Arteria coronaria sinistra (=LA) in der Folge der Scheiben bestimmt werden konnte.
Durch Planimetrieren der von den einzelnen Gefäßen versorgten Teile des Kammermyokards auf den Scheiben konnte die Größe der Versorgungsgebiete der drei Hauptäste in Prozent des gesamten Kammermyokards bestimmt werden.

2.4. Makroskopische und histologische Beurteilung der Gefäße

Anschließend wurden die Koronargefäße vom Kammermyokard freipräpariert und in 4 mm große Segmente geschnitten, an denen der Grad der Lichtungseinengung beurteilt wurde. Zahlreiche Segmente wurden histologisch untersucht.

2.5. Messung der lichten Weite der Koronargefäße an den Röntgenbildern

Um eine größtmögliche Genauigkeit der Messungen zu erhalten, wurde die im Folgenden geschilderte Methodik angewendet.

2.5.1. Meßlupe

Zur Messung der Gefäßweite wurde eine Lupe mit 7-facher Vergrößerung benutzt, die sich direkt auf die Röntgenbilder aufsetzen ließ und in deren Brennebene ein 1 cm langer Maßstab mit 1/10 mm-Einteilung lag.
Ein Parallaxenfehler bei der Ablesung wurde zum einen dadurch vermieden, daß das Gefäß möglichst zentral an der Millimetereinteilung gemessen wurde - im optimalen Fall also zwischen den Meßstellen 4 und 6 mm - zum anderen dadurch, daß das Auge derart über der Lupe zentriert gehalten wurde, daß das Blickfeld gerade vom rechten bis zum linken Rand der Einteilung reichte.

2.5.2. Meßpunkte

Zur Markierung der Meßpunkte wurde über jedes Röntgenbild eine Klarsichtfolie gelegt und über einem Lichtkasten mit einem wasserfesten Filzstift die Mittellinie

der Gefäße nachgezeichnet. Senkrecht zu dieser Linie wurde dann am Ostium beginnend jeder Zentimeter des Gefäßverlaufs sowie die größte Weite des Hauptstamms der linken Kranzarterie (= L) ihres linken umschlingenden Astes (= LU), ihres absteigenden Astes (= LA) und der rechten Kranzarterie bestimmt. Diese Stellen, an denen mit der Lupe der Durchmesser gemessen wurde, wurden auf Klarsichtfolie markiert, um so die Meßstellen jederzeit wiederfinden zu können. Die Durchmesser für R und LU wurden hierbei auf der ersten Scheibe, die für L und LA auf der a.-p.-Aufnahme erfaßt.
Die Stelle der größten Weite der Gefäße lag durchschnittlich für nicht sklerotische Gefäße bei LA 2,03 cm, LU 1,78 cm und R 2,02 cm vom Koronarostium entfernt.
Bei sklerotischen Gefäßen betrug dieser Abstand bei LA 2,36 cm, bei LU 1,59 cm und für R 1,92 cm, wobei einzelne Extremwerte bei LA bis zu 5 cm Entfernung vom Ostium, bei R sogar bis zu 8 cm vorhanden waren.

Aus den ermittelten Durchmessern wurden die Querschnittsflächen mit Hilfe der Formel

$$F = \pi r^2$$

berechnet.
Bei den Fragestellungen, bei denen die Gesamtgefäßweite untersucht werden sollte, wurde die Summe der Querschnittsflächen aller drei Kranzgefäße zugrundegelegt. Für LA ergab sich dabei insofern eine Besonderheit, als beim Vorhandensein eines oder zweier im Winkel zwischen LA und LU abgehender Äste - sogenannte Trifurkationsäste-deren Querschnittsfläche zu der von LA hinzugezählt wurde.

2.6. Bestimmung des Herzgewichts und des Versorgungsgebiets

Im Folgenden wurde als Beziehungsgröße für das"Herzgewicht" stets das Gewicht des fixierten Kammerteils (= Ktg) mit Fettgewebe und dem in den Gefäßen enthaltenen Kontrastmittel verwendet. Dieses Kammerteilgewicht betrug im Durchschnitt 81,41 % des frischen Herzgewichtes mit subepikardialem Fettgewebe, Vorhöfen und einer ca. 5 - 8 cm langen Aortenmanschette, die wegen der Coronarangiographie länger war als bei üblicher Sektionstechnik. Sie wog bei 20 Messungen zwischen 9 und maximal 15 g.

Die Größe des Versorgungsgebietes wurde nach einer von KALBFLEISCH (1975) entwickelten Methode bestimmt. Dabei wurden auf den Röntgenbildern der fixierten Myokardscheiben die Grenzen des Versorgungsgebietes aller drei Koronargefäße an 125 Herzen bestimmt und diese Fläche planimetarisch ermittelt. So ergaben sich einmal Absolutwerte in dimensionslosen planimetrischen Flächeneinheiten, zum anderen der prozentuale Anteil der Versorgungsgebiete des gesamten Kammermyokards.

2.7. Fehlerquellen bei der Größenbestimmung der Gefäßdurchmesser

Bei der Beurteilung der Messungen müssen zwei verschiedene Fehlerquellen berücksichtigt werden. Der eine Fehler ist systematischer Natur, der andere besteht in einem Ablesefehler an der Lupe.

Wie oben bereits erwähnt, wurden die Messungen der Weite von R und LU an der Aufnahme der ersten Scheibe, der von L und LA an der a.-p.-Aufnahme der nicht lamellierten Herzen durchgeführt. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die Koronargefäße an der ersten Scheibe ca. 8 mm, bei LA dagegen bis zu 10 cm von der Platte entfernt waren, was durch die Streuung der Röntgenstrahlen zu einer größeren Abbildung auf der Aufnahme führt. Eine weitere Vergrößerung kommt dann zustande, wenn das abzubildende Gefäß nicht zentral über der Röhre liegt. Die hieraus resultierenden Abweichungen sind in der folgenden Tabelle 1 dargestellt.

Abstand des Gefäßes von der Bildplatte in cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Linearer Meßfehler in %	0,00	0,86	1,75	2,63	3,54	4,46	5,41	6,36	7,34	8,33	9,35
Linearer Meßfehler in % bei seitlicher Verschiebung um 20 cm	1,45	2,33	3,21	4,12	5,04	5,98	6,93	7,91	8,90	9,90	10,93

Tabelle 1: Errechneter Meßfehler bei verschieden großem Objekt-Platten-Abstand

Hier wurde für jeden Abstand eines abzubildenden Objektes von der Bildplatte die prozentuale Vergrößerung im Zentrum unter der Röhre und bei zusätzlicher seitlicher Verschiebung um 20 cm errechnet.
Außerdem wurde ein aus einem Stahllineal ausgestanztes Loch mit einem Durchmesser von 3 mm in verschieden grossem Abstand bis zu 98 mm von der Platte geröngt und dann die Weite des Loches auf der Abbildung gemessen. Diese Messung wurde einmal ebenfalls im Zentrum des Strahlenbündels durchgeführt, dann aber auch bei einer seitlichen Verschiebung um 15 cm. Die hierbei gefundenen Meßwerte und die zugehörige prozentuale Abweichung von der realen Weite des Loches sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Die rechnerisch und experimentell ermittelten Abweichungen sind in der Abbildung 1 dargestellt.

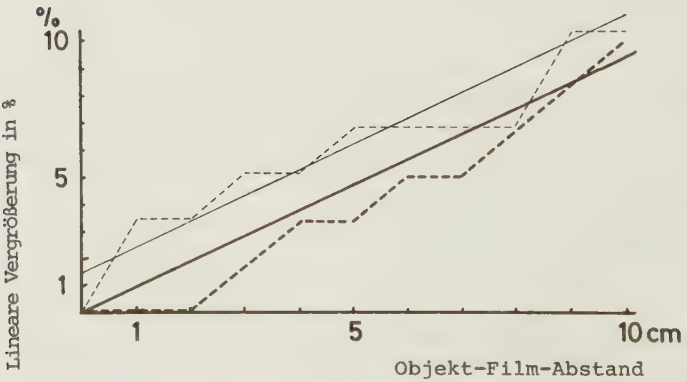

Abb. 1: Vergleich des rechnerisch und experimentell ermittelten linearen Vergrößerungsfaktors in % bei verschiedenem Objekt-Film-Abstand.
——— berechnete Abweichung im Zentralstrahl
— · — · — berechnete Abweichung bei 20 cm seitl. Verschiebung
– – – – experimentell ermittelte Abweichung im Zentralstrahl
– – – – – experimentell ermittelte Abweichung bei 15 cm seitl. Verschiebung

Abstand von der Plattenebene mm	Durchmesser des Kreises im Zentrum mm	lineare Vergrößerung in %	Durchmesser bei Verschiebung um 15 cm	lineare Vergrößerung in %
0	3,0	0	2,9	0
12,5	3,0	0	3,0	3,45
22	3,0	0	3,0	3,45
31,5	3,05	1,67	3,05	5,17
41	3,1	3,33	3,05	5,17
50,5	3,1	3,33	3,1	6,90
60	3,15	5,00	3,1	6,90
69,5	3,15	5,00	3,1	6,90
79	3,2	6,67	3,1	6,90
88,5	3,25	8,33	3,2	10,34
98	3,3	10	3,2	10,34

Tabelle 2: Experimentell ermittelte Vergrößerung eines Objekts bei Änderung des Objekt-Film-Abstandes im Zentrum des Röntgenstrahls und bei der Verschiebung um 15 cm in die Peripherie.

Da sich bei der Umrechnung des Gefäßdurchmessers in die Querschnittsfläche bei den kleinsten Gefäßen ein Fehler besonders schwerwiegend auswirken muß, ergab sich für die Kinderherzen die Notwendigkeit einer besonderen Kontrolle.
Dafür wurden an den fixierten und lamellierten Koronargefäßen die Durchmesser direkt gemessen und mit den Messungen der entsprechenden Stellen an den Röntgenbildern verglichen. Hierbei ergab sich bei 10 Messungen an 0,7 bis 2,0 mm weiten Gefäßen dreimal eine exakte Übereinstimmung, viermal unterschieden sich die Werte um $\pm$ 0,1 mm, zweimal um $\pm$ 0,2 mm und einmal um $\pm$ 0,3 mm.

Der Vergleich dieser beiden Meßreihen ist jedoch problematisch, da die Meßpunkte in keinem Fall vollkommen übereinstimmten, sondern meistens 2 - 5 mm weiter distal oder proximal gemessen wurde, woraus bei den kleinen Gefäßen leicht ein Weitenunterschied resultieren kann.
Um den Einfluß der Totenstarre auf die Gefäßweite zu überprüfen, wurden alle 112 Herzen mit nicht sklerotischen Gefäßen in Gruppen mit schlaffem, mäßig und gut kontrahiertem Myokard eingeteilt. In den einzelnen Gewichtsklassen, die jeweils 50 g umfaßten, fand sich kein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Koronargefäßweiten und Kontraktionszustand des Herzens.
Bei Meßwerten, die in der Mitte zwischen zwei Strichen der Skala lagen, bereitete die Einordnung gelegentlich Schwierigkeiten. Die Größe dieses Ablesefehlers wurde durch Doppelmessungen an 115 verschiedenen Meßpunkten festgestellt. Bei 82 Messungen (= 71,3%) ergab sich exakte Übereinstimmung, bei 27 (= 23,5%) ergab sich ein Fehler von $\pm$ 0,1 mm und nur bei 6 Messungen (= 5,2%) war der Fehler größer als 0,1 mm. Der durchschnittliche

Fehler liegt damit pro Messung bei 0,034 mm, was bei einer durchschnittlichen Gefäßweite von ungefähr 3,5 mm einen linearen Fehler unter 1% ergibt.
Er ist somit vernachlässigbar klein.
Wenn man davon ausgeht, daß der systematische Fehler bei der ersten Scheibe,also bei LU und R,zwischen 0,86 und 2,33 % liegt, was bei einem mittleren Durchmesser von 3,0 bis 4,0 mm ein Fehler zwischen ca. 0,03 und 0,08 mm bedeutet, so fällt dieser Vergrößerungsfaktor kaum ins Gewicht.
Bei einem durchschnittlichen Abstand von LA zur Bildplatte von 5 - 8 cm ergibt sich für LA bei einem mittleren Durchmesser von 3,0 - 4,0 mm eine Vergrößerung dieses Durchmessers um 0,12 - 0,29 mm, entsprechend 4,46% bis 7,34 % linearer Vergrößerung für den Zentralstrahl.
Da dies nur für LA gilt, ergibt sich für die Fragestellung der Gesamtquerschnittsfläche ein maximaler linearer Vergrößerungsfaktor von ca. 2,4 %.
Dies bedeutet bei den größeren Gefäßen eine Erhöhung der Gesamtquerschnittsfläche um fast 5 %.

Bei den Fragestellungen,die die Querschnittsfläche von LA betreffen, beträgt die Flächenvergrößerung für die größten Gefäße von 5 mm lichter Weite und einem angenommenen, kaum einmal realisierten, maximalen linearen Vergrößerungsfaktor von 9,35 % 19 %.
An den Gruppen der Herzen mit nicht sklerotischen Gefäßen, deren Kammerteilgewicht 200 - 299 g bzw. 500 bis 599 g betrug, wurde für LA und einen eventuell vorhandenen Trifurkationsast die Berechnung der tatsächlichen Querschnittsflächen* durchgeführt. Die Gesamtquerschnittsfläche der Kranzarterien der Herzen mit 200 - 299 g schweren Kammerteilgewichten verringerte sich dabei um durchschnittlich 4,39 %.

* Sie errechnen sich aus den mit dem Vergrößerungsfaktor korrigierten Querschnittsflächen von LA.

In der Gruppe der 500 - 599 g schweren Herzen ergab die Umrechnung eine um 5,52 % kleinere Gesamtquerschnittsfläche
Aufgrund der vernachlässigbar kleinen Unterschiede der Korrekturfaktoren in der Gruppe der leichteren und der schweren Herzen entspricht die Steilheit des Kurvenverlaufs in den folgenden Diagrammen bei korrigierten Werten annähernd der bei unkorrigierten Werten.
Die tatsächlichen Absolutgrößen der Gesamtquerschnittsflächen hingegen, betragen im Durchschnitt ungefähr 95 % der von uns in den Diagrammen aufgezeichneten Werten.
Eine Korrektur nach diesen Vergrößerungsfaktoren wurde bei der Darstellung der Diagramme nicht vorgenommen, weil diese Abweichungen bei den Erwachsenenherzen etwa in der gleichen Größenordnung liegen.
Bei der Bewertung der Meßergebnisse in der Diskussion wird diesem Fehler jedoch Rechnung getragen.

2.8. Statistische Auswertung

Die statistischen Berechnungen wurden im Institut für medizinisch biologische Statistik der Universität Marburg auf einem Elektronenrechner PDP 08 durchgeführt.
Mit Hilfe des Programms "Korrelation und Regression II" wurden berechnet:

die Mittelwerte der Parameter: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i$$

die Varianzen: $s^2_{(x)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2$; $s^2_{(y)}$

die Kovarianzen: $COV_{(x,y)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$

der Korrelations-
koeffizient: $cor_{(x,y)} = \frac{COV_{(x,y)}}{s_{(x)} \cdot s_{(y)}}$

die Steigung der
Korrelationsgeraden: $B = \frac{COV_{(x,y)}}{s^2_{(x)}}$

Die Summe der quadratischen
Abweichung der gemessenen
y-Werte von der Regressions-
geraden: $Q = (n-1) \cdot (s^2_{(y)} - B^2 \cdot s^2_{(x)})$

Die Varianz der Regression: $s^2_{(R)} = \frac{Q}{n-2}$

Die Varianz von B: $s^2_{(B)} = \frac{s^2_{(R)}}{(n-1) \cdot s^2_{(x)}}$

Der T-Wert zu B: $T_{(B)} = \frac{B}{s_{(B)}}$

Der T-Wert zu Cor (x,y): $T_{cor} = \frac{cor_{(x,y)} \cdot \sqrt{n-2}}{1 - cor^2_{(x,y)}}$

Die Regressionsgeraden wurden in diesem Programm sowohl für x als unabhängige und y als abhängige Variable als auch für y als unabhängige und x als abhängige Variable berechnet.
Der berechnete Korrelationskoeffizient wurde anhand einer entsprechenden Tabelle (DOCUMENTA GEIGY, 1960) auf seine Signifikanz gegen Null überprüft.

III. ERGEBNISSE

Die Herzen wurden in eine Gruppe mit nicht sklerotischen und eine Gruppe mit sklerotischen Herzkranzgefäßen eingeteilt. Diese Einteilung geschah nach dem Grad der Einengung. Er wurde an den lamellierten Segmenten beurteilt. Es wurden alle diejenigen Herzen als nicht sklerotisch bezeichnet, deren lichte Weite an höchstens zwei Segmenten eine maximale Einengung auf 3/4 des ursprünglichen Durchmessers aufwies. Alle anderen Herzen wurden als sklerotisch bezeichnet.
Außerdem wurden die Kinderherzen als eigene Gruppe zusammengefaßt. Für alle Fragestellungen wurden zusätzlich die Geschlechtsabhängigkeit überprüft. Dementsprechend wurden in den Diagrammen die beiden Gruppen unterschiedlich kenntlich gemacht.

3.1. Altersabhängigkeit der Weite der Herzkranzgefäße der Erwachsenenherzen

Für diese Fragestellung wurden 64 Erwachsenenherzen mit einem Kammerteilgewicht zwischen 200 und 400 Gramm ausgewählt, deren Herzkranzgefäße - nach obigen Kriterien - als nicht sklerotisch angesehen werden dürfen. Darunter befanden sich 37 Frauenherzen und 27 Männerherzen. Diese wurden Leichen entnommen, deren Lebensalter zwischen 22 und 86 Jahren lag. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 2 bis 9 anhand von Histogrammen dargestellt.
Da der Einfluß des Alters auf die Koronargefäßweite möglichst rein, d. h.,ohne Verfälschung durch andere,die Größe der Herzkranzgefäße mitbestimmende Faktoren unter-

sucht werden sollte, wurde der Hauptfaktor - nämlich das Gewicht des Herzens - durch die Verwendung einer definierten Gewichtsklasse möglichst weitgehend eliminiert.

Leider war die Zusammenstellung einer Gruppe von Herzen, deren Gewicht zwischen 300 und 400 Gramm lag, wegen der zu geringen Anzahl nicht möglich. Deswegen ist in dieser Gruppe eine relativ breite Gewichtsklasse von 200 - 400 Gramm repäsentiert. Außerdem muß nochmals an dieser Stelle erwähnt werden, daß hierunter nicht das frische Herzgewicht, sondern das Kammerteilgewicht (Ktg) des in 4%-iger Formalinlösung fixierten Herzens zu verstehen ist.
In den folgenden Abbildungen 2 und 3 sind zuerst für Männer und Frauen getrennt, dann gemeinsam die Kammerteilgewichte für die verschiedenen Altersklassen eingetragen.
Es geht hieraus hervor, daß in unserem Beobachtungsgut ein allmähliches Ansteigen der durchschnittlichen Herzgewichte zwischen dem 31. - 70. Lebensjahr erfolgt, während jenseits des 70. Lebensjahres die Kammerteilgewichte wieder etwas abnehmen.
Die Durchschnittsgewichte betragen bei den:

	Männer	Frauen
41-50-jährigen	297 g	292 g
51-60-jährigen	338 g	327 g
61-70-jährigen	343 g	332 g
71-80-jährigen	307 g	311 g

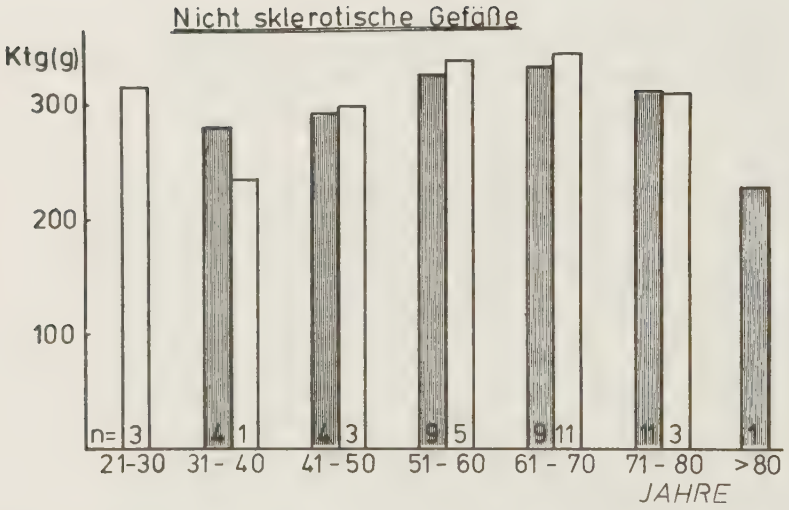

Abb. 2: Kammerteilgewicht und Lebensalter von Frauen- und Männerherzen ohne Koronarsklerose

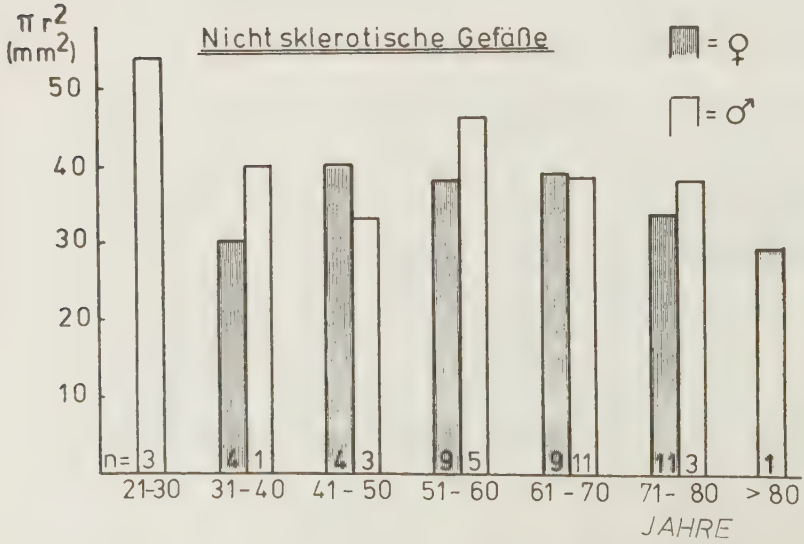

Abb. 3: Gesamtquerschnittsfläche der Herzkranzarterien und

Betrachtet man nun die Gesamtquerschnittsfläche der drei Herzkranzgefäße in Abhängigkeit vom Alter (Abb.3), so zeigt sich ein deutlich weniger harmonischer Verlauf der Säulenfolge. Nur bei den Frauenherzen läßt sich ein dem Kammerteilgewicht annähernd entsprechendes Verhalten der Gefäßweite mit zunehmendem Alter erkennen. Bei ihnen steigt die Gesamtquerschnittsfläche von 30,32 mm^2 bei den 31-40-jährigen, auf 40,11 mm^2 bei den 41-50-jährigen, erreicht bei den 51-60-jährigen 38,11 mm^2, bei den 61-70-jährigen 39,12 mm^2, um dann wieder bei den über 70 Jahre alten Frauen auf 33,64 mm^2 und bei dem einen Herzen über 80 Jahre auf 29,26 mm^2 abzusinken. Die Querschnittsfläche der Männerherzen schwankt dagegen ziemlich regellos zwischen einem Höchstwert von 52,30 mm^2 bei den 21-30-jährigen und 33,46 mm^2 bei den 41-50-jährigen. Hierbei ist jedoch die geringe Anzahl der Messungen zu berücksichtigen.

In den Abbildungen 4 und 5 sind die Altersgruppen nicht nach Geschlechtern aufgeteilt worden. Das Kammerteilgewicht in diesem Untersuchungsgut steigt zwischen dem 31. und 70. Lebensjahr von 270 g auf 338 g, um dann im 8. Lebensjahrzehnt wieder auf 309 g abzusinken. Die drei Herzen der 21-30 -jährigen haben ein Kammerteilgewicht von 315 g, das eine Herz über 80 Jahre von 225 g.

Die Weite der Koronargefäße verhält sich fast genau proportional dem Kammerteilgewicht der entsprechenden Altersgruppe (Abb.5). Wir sehen eine Zunahme der Gefäßweite zwischen dem 31. und 60. Lebensjahr von 32,25 mm^2 auf 40,99 mm^2 und daran anschließend eine Abnahme bei den älteren Gruppen von 38,85 mm^2 bei den 61-70-jährigen, über 34,59 mm^2 bei den 71-80-jährigen, bis zu 29,26 mm^2 des über 80-jährigen Herzens. In der Gruppe der 21-30-jährigen hat die Gefäßweite mit 52,25 mm^2 eine gegenüber

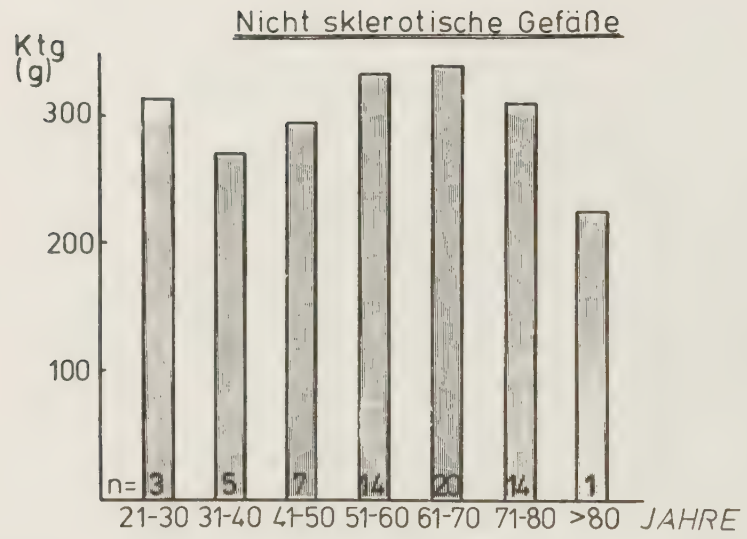

Abb. 4 : Kammerteilgewicht und Lebensalter von Erwachsenenherzen ohne Koronarsklerose

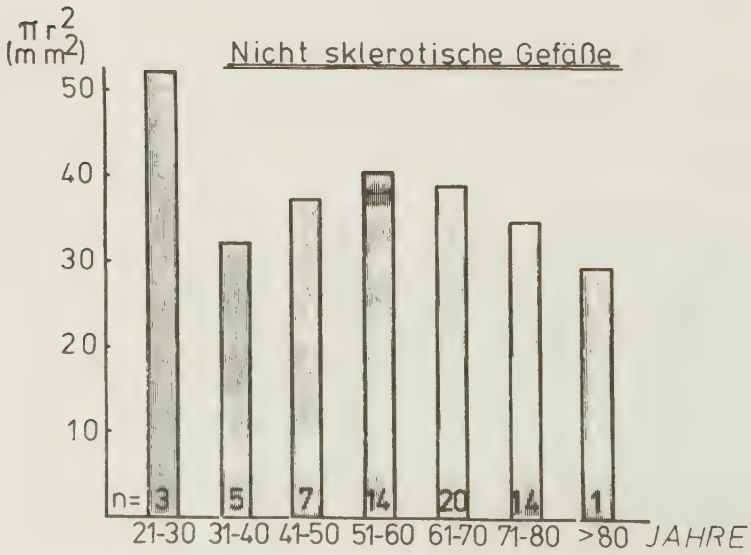

Abb. 5 : Gesamtquerschnittsfläche der Herzkranzarterien und Lebensalter von Erwachsenenherzen ohne Koronarsklerose

dem Kammerteilgewicht überproportionale Weite. Dieser Beobachtung kommt jedoch wegen der sehr kleinen Anzahl von Herzen in dieser Gruppe keine wesentliche Bedeutung zu. Ebenfalls ist die Querschnittsfläche der Kranzgefäße bei den 61-70-jährigen etwas geringer als es der entsprechende Wert des Kammerteilgewichtes erwarten läßt.

In den Abbildungen 6 - 9 sind die Gefäßweiten und die Kammerteilgewichte für die unter 50-jährigen (n = 15) und die über 60-jährigen (n =35) einander gegenübergestellt. Das durchschnittliche Kammerteilgewicht der über 60-jährigen beträgt 324 g, bei den unter 50-jährigen aber nur 290 g. Dagegen liegt die durchschnittliche Gefäßweite der Herzen der über 60-jährigen mit 36,87 mm^2 fast 2 mm^2 unter derjenigen der unter 50-jährigen mit 38,66 mm^2. In den Abbildungen 8 und 9 sind die beiden Gruppen nach Geschlechtern getrennt aufgeführt.

Nach diesen Ergebnissen läßt sich keine allein altersbedingte Zunahme der Gefäßquerschnitte feststellen. Der Vergleich der Querschnittsflächen mit dem Herzgewicht weist jedoch auf eine Proportionalität dieser beiden Parameter hin, so daß bei zunehmendem Herzgewicht eine (altersunabhängige) Zunahme des Gefäßquerschnittes zu erwarten ist. Diese Frage wird im nächsten Kapitel behandelt.

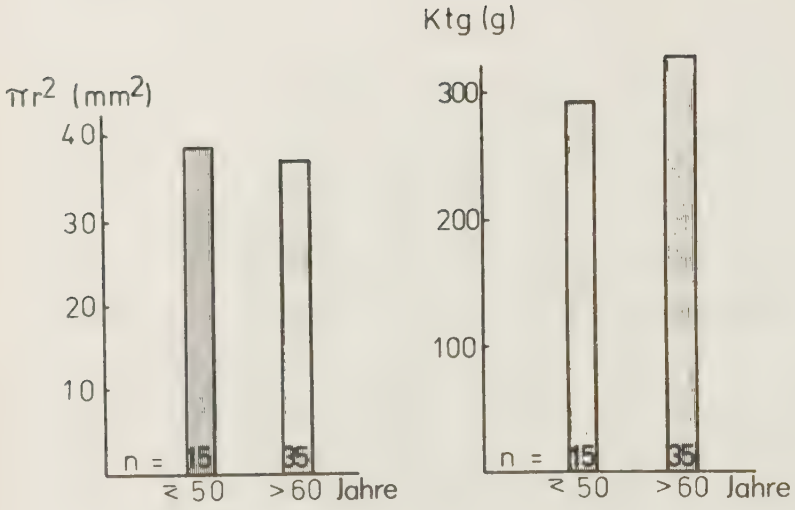

Abb. 6: Gesamtquerschnittsfläche der Herzkranzarterien von Erwachsenenherzen ohne Koronarsklerose unter 50 Jahre und über 60 Jahre.

Abb. 7: Kammerteilgewicht von Erwachsenenherzen ohne Koronarsklerose unter 50 Jahren und über 60 Jahren.

Nicht sklerotische Gefäße

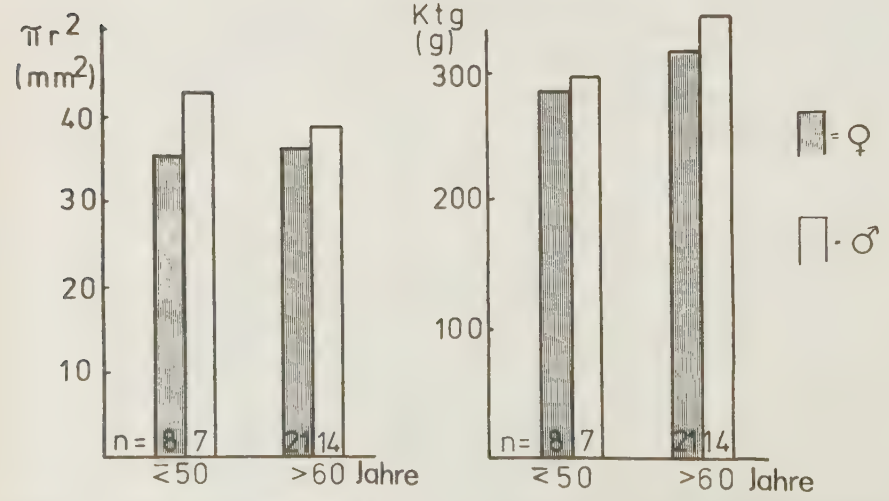

Abb.8: Gesamtquerschnittsfläche nichtsklerotischer Koronararterien von Frauen-u.Männerherzen unter 50 Jahren u. über 60 Jahren

Abb.9: Kammerteilgewicht von Frauen-u.Männerherzen ohne Koronarsklerose unter 50 Jahren u. über 60 Jahren.

3.2. Die Abhängigkeit der Weite der Herzkranzgefäße vom Kammerteilgewicht

Die Größe des Herzkranzgefäßlumens wurde in ihrer Abhängigkeit vom Gewicht des Kammerteils für das gesamte Kollektiv, für die vollständig zarten Koronararterien sowie für die Summe der Querschnitte von R und gemeinsamen Stamm der linken Koronararterie untersucht.

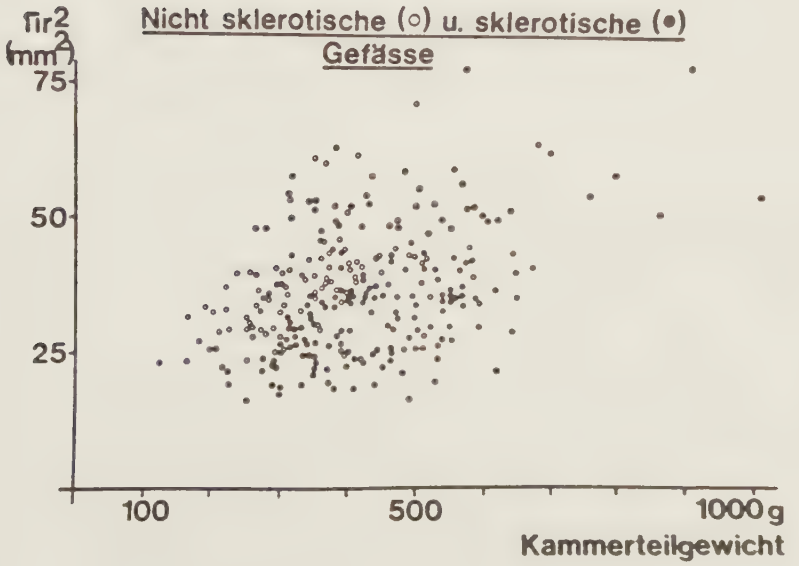

Abb. 10: Gesamtquerschnittsfläche sklerotischer und nicht sklerotischer Herzkranzgefäße und zugehöriges Kammerteilgewicht.

Die Abbildung 10 stellt für alle Erwachsenenherzen im Alter zwischen 15 und 81 Jahren die Gesamtquerschnittsfläche der Herzkranzgefäße in Beziehung zum Kammerteilgewicht (= Ktg) dar. Dabei gelten die Kreise für die nicht sklerotischen, die Punkte für die sklerotischen Gefäße. Insgesamt umfaßt die nicht sklerotische Gruppe 112 Herzen, die sklerotische Gruppe 163 Herzen.
Das Durchschnittsgewicht der ersteren Gruppe beträgt 393 g, ihre durchschnittliche Querschnittsfläche 41,23 mm^2, während das durchschnittliche Kammerteilgewicht der zweiten Gruppe 427 g, ihre mittlere Querschnittsfläche hingegen nur 33,31 mm^2 beträgt. Die Herzen mit sklerotischen Gefäßen weisen also trotz im Durchschnitt höherer Kammerteilgewichte eine geringere mittlere maximale Querschnittsfläche der Kranzarterienhauptstämme auf. In Abbildung 10 liegen die Werte der Querschnittsflächen des größten Teils der sklerotischen Gefäße unter dem der nicht sklerotischen Gefäße.
Auf eine Berechnung der Regressionsgeraden wurde wegen der sehr starken Streuung der Meßwerte des gesamten Beobachtungsgutes verzichtet. Sie wurde aber für die beiden folgenden Diagramme, d. h. für nicht sklerotische und sklerotische Gefäße getrennt durchgeführt.

In der Abbildung 11 ist die Gesamtquerschnittsfläche nicht sklerotischer Gefäße im Verhältnis zum Kammerteilgewicht aufgetragen. Die Punkte stellen dabei die Meßwerte für die 54 Frauenherzen dar, die Kreise die Werte für die 58 Männerherzen. Die Abbildung läßt ein Ansteigen der Querschnittsfläche der Koronargefäße mit zunehmendem Kammerteilgewicht erkennen, das durch die Regressionsgerade $y = 0{,}045\ x + 23{,}51$ ausgedrückt ist. Der Korrelationskoeffizient beträgt hierfür $r = 0{,}61$ $p = 0{,}001$. Ein unterschiedliches Verhalten zwischen Männern und Frauen ist beim Betrachten der Punkteschar nicht er-

kennbar, jedoch bei Errechnung der Regressionsgeraden. Sie betragen für Frauen $y = 0{,}046\ x + 21{,}27$ bei einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0{,}66$ ($p < 0{,}001$) für Männer dagegen $y = 0{,}038\ x + 28{,}37$ $r = 0{,}50$ $p < 0{,}001$. Die Verlaufsdifferenz ist jedoch statistisch nicht signifikant.

Bei den höchsten Gewichten ist der Anstieg der Gefäßweite durch die geringe Fallzahl nicht eindeutig zu beurteilen, jedoch ist eine weitere Lumenzunahme auch über einem kritischen Kammerteilgewicht, das nach LINZBACH bei ca. 300 - 350 g (reines Myokardgewicht ohne subepicardialem Fettgewebe) liegt, festzustellen.

Die Meßwerte für die sklerotischen Herzen sind in der Abbildung 12 für 49 weibliche und 114 männliche Herzen dargestellt. Eine Weitenzunahme des Lumens mit steigendem Kammerteilgewicht ist dabei nicht sehr evident. Die Gleichung für die Regressionsgerade lautet:

$$y = 0{,}031\ x + 20{,}16,\ r = 0{,}343,\ p < 0{,}001$$

Die Streuung der Werte ist hierbei, wie aus dem geringeren Korrelationskoeffizienten hervorgeht, wesentlich größer als bei den nicht sklerotischen Herzkranzgefäßen. Das mittlere Kammerteilgewicht für weibliche Herzen mit sklerotischen Herzkranzgefäßen liegt bei 369 g, die mittlere Querschnittsfläche der Herzkranzgefäße beträgt 31,58mm^2. Die entsprechenden Durchschnittswerte der Männer betragen 452 g und 33,94 mm^2. Die durchschnittliche Weite der Gefäße ist somit bei dem höheren Gewicht der männlichen sklerotischen Herzen etwas größer als bei den leichteren Frauenherzen.

Die Histogramme der Abbildungen 13 und 14 zeigen dieselben Zusammenhänge wie die Abbildungen 11 und 12 in einer anderen Darstellungsform. Die Herzen wurden dabei nach Geschlechtern getrennt,jeweils in 100-Gramm-Gruppen zusammengefaßt und die durchschnittliche Gesamtquerschnittsfläche mit den Standardabweichungen eingetragen.

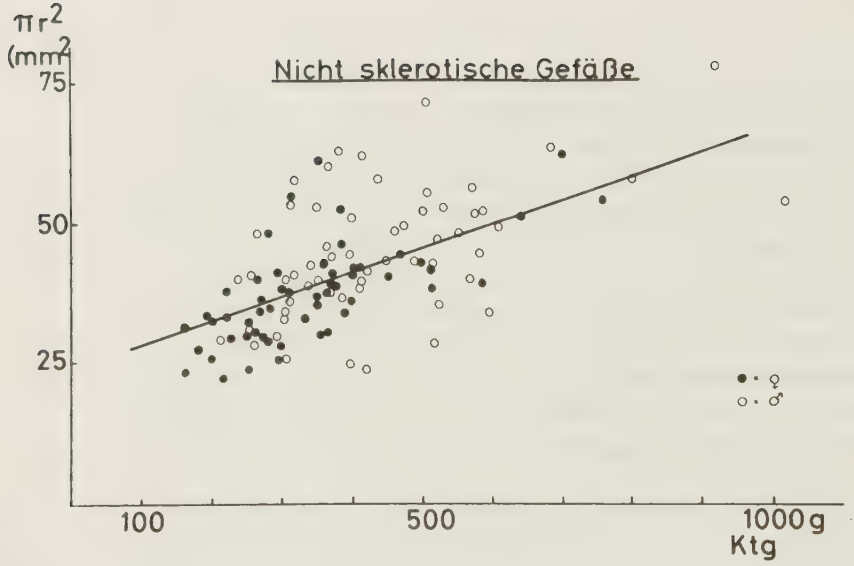

Abb. 11: Gesamtquerschnittsfläche nicht sklerotischer Herzkranzgefäße und zugehöriges Kammerteilgewicht.

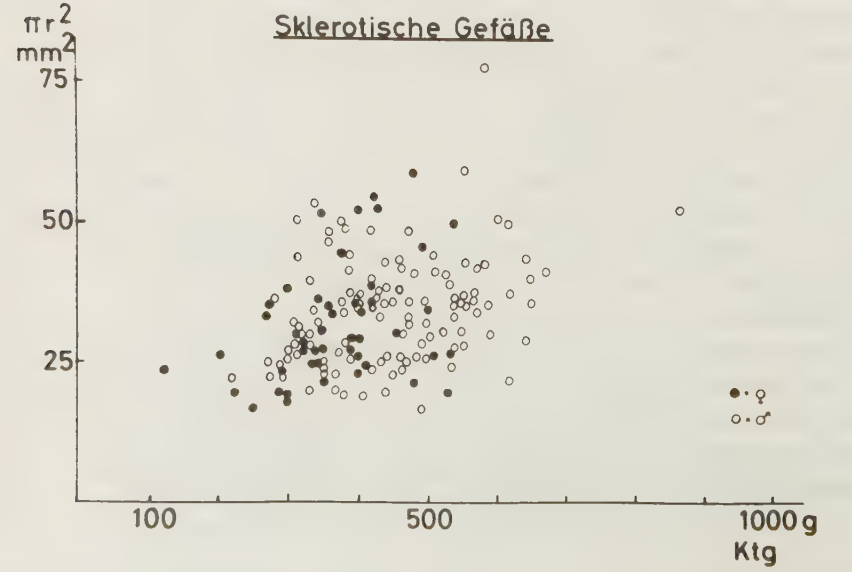

Abb. 12: Gesamtquerschnittsfläche sklerotischer Herzkranzgefäße und zugehöriges Kammerteilgewicht.

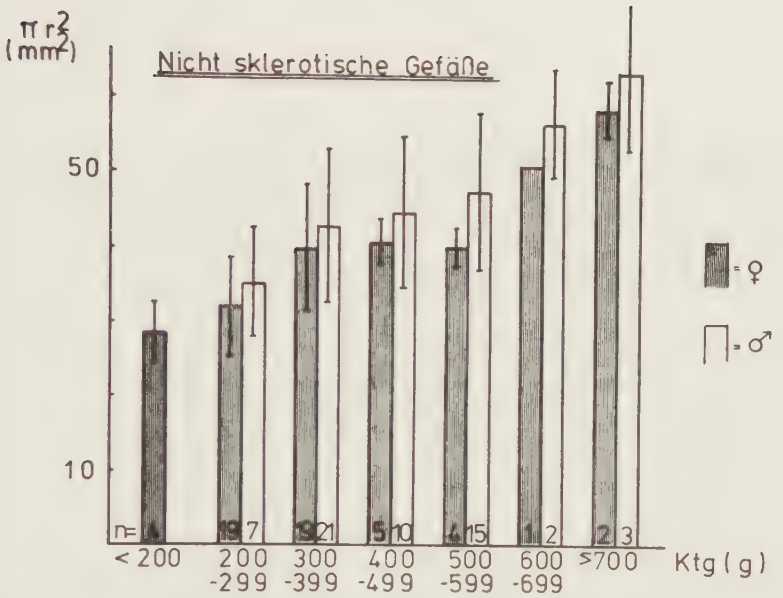

Abb. 13: Durchschnittliche Querschnittsfläche der Koronararterien verschiedener Kammerteilgewichtsgruppen von Frauen-u. Männerherzen ohne Koronarsklerose

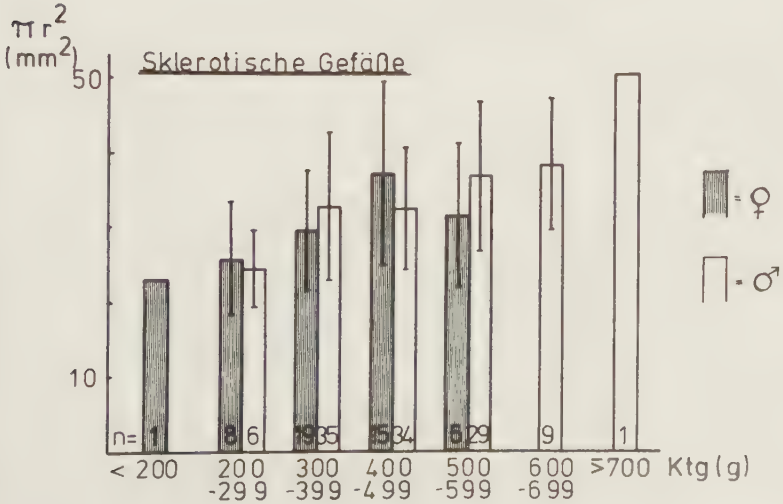

Abb. 14: Durchschnittliche Gesamtquerschnittsfläche der Koronararterien verschiedener Kammerteilgewichtsgruppen von Frauen-u. Männerherzen mit Koronarsklerose.

Bei den weiblichen Herzen mit nicht sklerotischen Gefäßen nimmt die versorgende Querschnittsfläche von 28,70 mm^2 bei den unter 200 g schweren Herzen zu bis 39,73 mm^2, bei den Herzen, deren Kammerteilgewicht 300 - 399 g beträgt, bleibt dann bis 599 g praktisch konstant und steigt erst bei den 600-699 g schweren Herzen auf 50,79 mm^2 und bei den über 700 g schweren auf 58,34 mm^2 an. Die Querschnittsfläche der Herzkranzgefäße bei Männerherzen steigt in dieser Untersuchungsreihe dagegen fast kontinuierlich von einem durchschnittlichen Wert von 35,04 mm^2 bei den leichtesten über 42,84 mm^2, 44,67 mm^2, 47,51 mm^2 und 56,03 mm^2 auf 63,41 mm^2 bei den schwersten Herzen an.
Zu berücksichtigen ist hierbei, daß die Gewichtsklassen über 600 g nur sehr wenige Herzen enthalten, so daß dieser Anstieg nur als Tendenz betrachtet werden darf.
Weiter ist aus diesem Diagramm ersichtlich, daß in allen Gewichtsklassen die versorgende Querschnittsfläche bei den Frauenherzen im Durchschnitt etwas kleiner ist als bei den männlichen Herzen. Bei einem Vergleich der durchschnittlichen Kammerteilgewichte innerhalb der einzelnen Gewichtsklassen war bei den Frauenherzen kein geringeres Durchschnittsgewicht festzustellen, das die kleineren Gefäßweiten erklären könnte.
Eine statistische Signifikanz der unterschiedlichen Querschnittsflächen hat sich jedoch wegen der großen Standardabweichungen nicht sichern lassen.
Die Verhältnisse für sklerotische Herzkranzgefäße sind in der Abbildung 14 dargestellt. Hier steigt die Querschnittsfläche der Koronargefäße bei den Frauenherzen von 23,23 mm^2 bei den leichtesten auf 37,31 mm^2 bei den 400 bis 499 g schweren Herzen an, bei den 500-599 g schweren Herzen ist sie mit 31,62 mm^2 etwas geringer. Bei den Männerherzen hat die leichteste Gewichtsklasse eine durchschnittliche Koronarquerschnittsfläche von 24,79 mm^2 und erreicht bei den 600-699 g schweren Herzen 38,56 mm^2.

Das eine Herz über 700 g Ktg besitzt eine Gesamtquerschnittsfläche der Herzkranzgefäße von 50,56 mm^2.
Eine konstant geringere Gefäßweite der weiblichen gegenüber den männlichen Herzen, wie sie in Abbildung 13 zum Ausdruck kommt, ist bei den sklerotischen Herzen nicht festzustellen.
Da in der Darstellung der Abhängigkeit der Gefäßweite vom Kammerteilgewicht nicht sklerotischer Gefäße (Abb. 11 u. 13) eine sehr große Streuung der Querschnittsfläche der Herzkranzgefäße auffällt, wurde überprüft, ob diese ihren Grund in der geringfügigen Sklerose eines Teils der Gefäße haben könnte. Deswegen wurden von dieser Gruppe 54 Herzen ausgesucht, deren Koronargefäße auf den Segmenten keinerlei Anzeichen einer Koronarsklerose erkennen ließen. Die Abhängigkeit der Gesamtquerschnittsfläche dieser Gefäße vom Kammerteilgewicht ist für diese Herzen in Abbildung 15 dargestellt.
Dabei zeigen sich die gleichen Verhältnisse wie auf Abbildung 11 mit einem Anstieg der Gesamtquerschnittsfläche mit zunehmenden Kammerteilgewicht. Dieser Anstieg wird durch die Regressionsgerade $y = 0{,}039\ x + 26{,}47$ ausgedrückt. Der Korrelationskoeffizient ist mit 0,625 $p < 0{,}001$ nur sehr unwesentlich höher als der der nicht sklerotischen Herzkranzgefäße der Abbildung 11. Die Standardabweichung liegt mit 10,36 mm^2 ebenfalls sehr wenig unter dem Wert von 11,15 mm^2 der gesamten Gruppe der nicht sklerotischen Koronargefäße, woraus der Schluß gezogen werden kann, daß die geringfügige Sklerose eines Teils der Gefäße der nicht sklerotischen Gruppe keinen nennenswerten Einfluß auf die Größe der Gefäßquerschnittsfläche hat.
Eine weitere Beziehung zwischen Größe der Herzkranzgefäße und Kammerteilgewicht des Herzens zeigen die Abbildungen 16 - 18, in der der Weite der Gefäße die Summe der Querschnittsflächen an den weitesten Stellen der Arteria coronaria dextra und des Hauptstammes der Arteria coronaria sinistra zugrunde liegt.

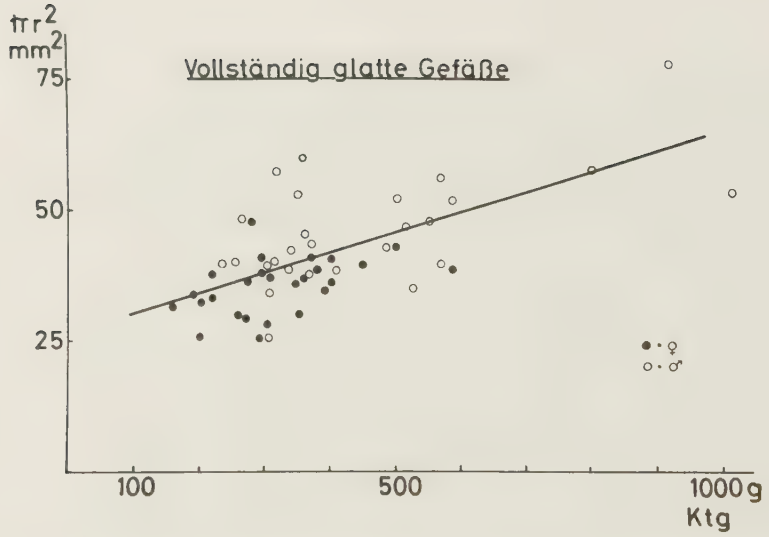

Abb. 15: Gesamtquerschnittsfläche vollständig glatter Herzkranzgefäße und zugehöriges Kammerteilgewicht

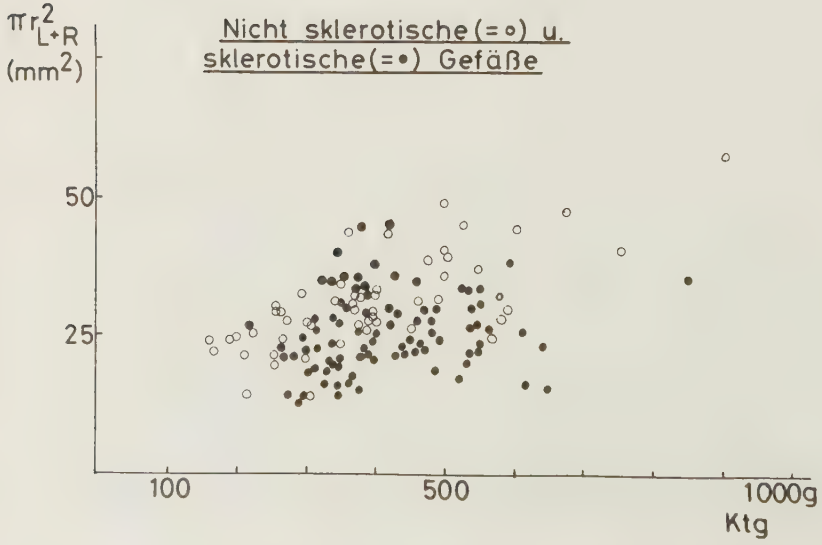

Abb. 16 : Summe der Querschnittsfläche von Art. cor. dextra und Art. cor. sin. und Kammerteilgewicht von Herzen mit und ohne Koronarsklerose.

53 Herzen mit nicht sklerotischen und 90 Herzen mit sklerotischen Gefäßen konnten auf diese Frage hin untersucht werden. Die geringere Anzahl gegenüber der Gruppe mit allen drei Koronargefäßen rührt daher, daß in vielen Fällen eine Koronareinbindung geringe Füllungsdefekte verursachten oder ein zu kurzer gemeinsamer Stamm eine Beurteilung der Gefäßweite im Anfangsteil der Arteria coronaria sinistra nicht zuließ.
Bei der gemeinsamen Darstellung der nicht sklerotischen und sklerotischen Gefäßen in Abbildung 16 zeigen sich ähnliche Verhältnisse wie in Abbildung 10. Die Weite der sklerotischen Gefäße ist im Durchschnitt deutlich geringer als die der nicht sklerotischen Gefäße. Die Summe der Querschnittsfläche von R und L liegt im Durchschnitt für die nicht sklerotischen Gefäße bei 30,71 mm^2, die der sklerotischen Gefäße bei 25,96 mm^2, wobei die Kammerteilgewichte 393 g bzw. 424 g betragen. Die Herzen mit nicht sklerotischen Gefäßen werden also im Durchschnitt bei einem geringeren Kammerteilgewicht von weiteren Herzkranzgefäßen versorgt, die sklerotischen Herzen haben bei relativ engem Gefäßlumen ein höheres Kammerteilgewicht.
Der Vergleich der Gesamtquerschnittsfläche, die aus den Flächen LA, LU und R besteht, mit derjenigen, die sich nur aus den beiden Querschnittsflächen von R und L zusammensetzt, zeigt für die letztere sowohl in der nicht sklerotischen als auch in der sklerotischen Gruppe geringere Werte. Die durchschnittliche Querschnittsfläche der drei Hauptstämme beträgt für die nicht sklerotischen Gefäße bei einem mittleren Kammerteilgewicht von 393 g 41,23 mm^2. Für die Querschnittsfläche,die sich aus R und L zusammensetzt, beträgt dieser Wert bei einem durchschnittlichen Kammerteilgewicht von ebenfalls 393 g nur 30,71 mm^2.

Die entsprechenden Flächen für sklerotische Gefäße erreichen bei einem durchschnittlichen Kammerteilgewicht von 427 g 33,23 mm^2, wenn alle drei Gefäße der Flächenbestimmung zugrundegelegt werden. Wird die versorgende Fläche dagegen aus den Meßwerten von R und L berechnet, so ergibt sich für sie bei einem durchschnittlichen Kammerteilgewicht von 424 g ein Mittelwert von 25,96 mm^2.

Lediglich bei 7 Herzen von insgesamt 90 der sklerotischen und 2 von insgesamt 53 der nicht sklerotischen Gruppe ist die Summe der Querschnittsfläche von R und L größer als die von R, LA und LU.

Die Abbildung 17 zeigt die Gefäßweiten der 53 nicht sklerotischen Herzen aus der Abbildung 16 in ihrer Abhängigkeit vom Kammerteilgewicht. Die Punkte stellen die Werte für die weiblichen, die Kreise für die männlichen Herzen dar. Der kontinuierliche Anstieg der Punkteschar wird durch die Regressionsgerade $y = 0{,}041 x + 14{,}29$ ausgedrückt. Die Korrelation ist mit einem Korrelationsfaktor von $r = 0{,}731$ bei einer Signifikanz $p < 0{,}001$ als sehr hoch zu bezeichnen. Die Standardabweichung beträgt 9,96 mm^2 und liegt damit sowohl unter dem entsprechenden Wert,der aus den drei Hauptästen der Koronargefäße zusammengesetzten Querschnittsflächen (s. Abb. 11) der nicht sklerotischen Gefäße als auch unter der Standardabweichung für die vollständig glatten Herzkranzgefäße der Abb. 15. Daraus läßt sich eine engere Beziehung zwischen der versorgenden Querschnittsfläche von L und R und dem Kammerteilgewicht herleiten, als bei Berücksichtigung der Gesamtquerschnittsfläche aller drei Koronaräste.

Das Verhalten der Gefäßweite der sklerotischen Gefäße ist aus Abbildung 18 zu ersehen, in der wiederum die Punkte die Werte der weiblichen Herzen, die Kreise die der männlichen Herzen bedeuten.

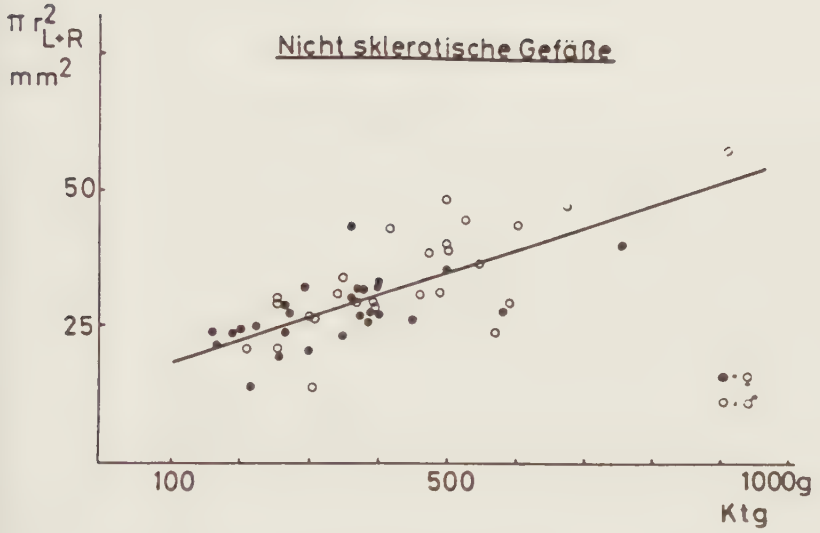

Abb. 17: Summe der Querschnittsfläche von Art.cor.dextra und Art.cor. sinistra und Kammerteilgewicht von Herzen ohne Koronarsklerose

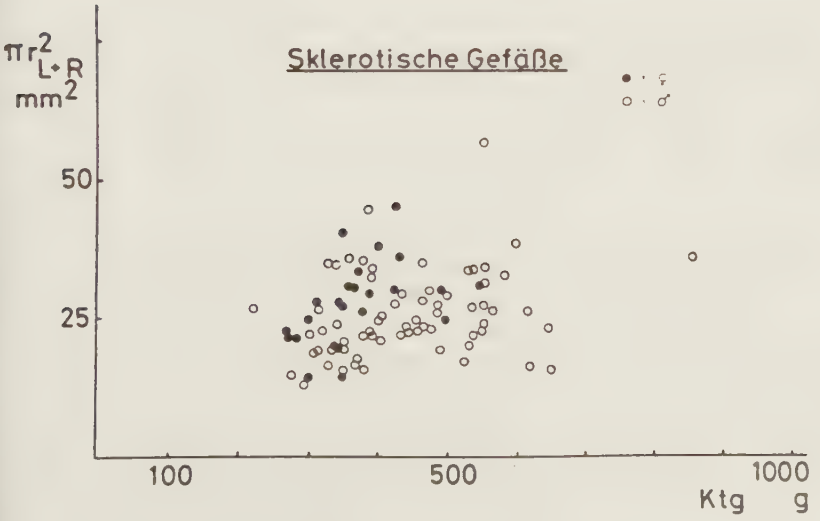

Abb. 18: Summe der Querschnittsfläche von Art.cor. dextra und Art.cor. sinistra und Kammerteilgewicht von Herzen mit Koronarsklerose.

Ein gesetzesmäßiger Verlauf der Punkteschar ist hier nicht zu erkennen. Dementsprechend erreicht der Korrelationskoeffizient der Regressionsgeraden $y = 0{,}010\ x + 21{,}55$ nur $r = 0{,}155$ und ist damit nicht signifikant. Die Gefäßweiten der Frauenherzen liegen jedoch deutlich über denjenigen der Männerherzen. Bei einem durchschnittlichen Kammerteilgewicht von 357 g erreichen sie eine mittlere Querschnittsfläche von 27,61 mm^2.
Die Gefäßweiten der männlichen Herzen betragen bei einem Durchschnittskammergewicht von 448 g nur 25,36 mm^2.
Die Querschnittsfläche pro Gewichtseinheit ist hier also im Durchschnitt wesentlich geringer.

3.3. Die relative Gefäßweite und ihre Abhängigkeit vom Kammerteilgewicht

Als relative Gefäßweite (= Q) wird hier die Anzahl der Quadratmillimeter der Gesamtquerschnittsfläche der drei Hauptäste pro Gramm Kammerteilgewicht bezeichnet. Diese Größe soll in ihrer Abhängigkeit vom Kammerteilgewicht überprüft werden.

Die Abbildung 19 zeigt die zusammenfassende Darstellung der 112 Erwachsenenherzen mit nicht sklerotischen und der 163 Erwachsenenherzen mit sklerotischen Herzkranzgefäßen. Es ist deutlich erkennbar, daß die Punkteschar einem exponentiellen Kurvenverlauf folgt. Bei Durchschnittsgewichten von 393 g für die Gruppe der nicht sklerotischen Herzen und von 427 g für die sklerotischen Herzen, haben die ersteren eine durchschnittliche relative Gefäßweite von 0,112 mm^2/g Ktg, während die letzteren nur eine solche von 0,081 mm^2/g Ktg erreichen. Die versorgende

Gefäßfläche eines Gramms Kammermyokard ist damit bei den Herzen mit sklerotischen Koronargefäßen im Durchschnitt geringer als bei denen mit nicht sklerotischen Gefäßen. Dementsprechend liegen auch die Punkte für die sklerotischen Gefäße deutlich unter der Punktwolke der nicht sklerotischen Gefäße (Abb. 19).

In der folgenden Abbildung 20 wurde die relative Gefäßweite nicht sklerotischer Gefäße gegen das Kammerteilgewicht der zugehörigen Herzen aufgetragen. Der exponentielle Verlauf der Punkte von der hohen relativen Gefäßweite bei niederem Kammerteilgewicht zu niederer relativer Gefäßweite bei hohem Kammerteilgewicht kommt hier noch deutlicher als in der vorigen Abbildung zum Ausdruck. Die Regressionsgerade $y = -0{,}00013\ x + 0{,}165$ erreicht einen Korrelationskoeffizienten von $r = -0{,}630$, der mit $p < 0{,}001$ signifikant ist.
Da die Korrelation auf die Regressionsgerade berechnet wurde, der Punktverlauf sich jedoch nach einer Exponentialfunktion richtet, darf bei der Berechnung einer nicht linearen Funktion, die der Punkteschar besser angepaßt wäre, ein höherer tatsächlicher Korrelationsfaktor angenommen werden. Der höchste Wert für die relative Gefäßweite nicht sklerotischer Herzkranzgefäße liegt bei 0,193 mm^2/g Ktg und ist damit fast viermal so groß wie der geringste Wert, der bei 0,053 mm^2/g liegt. Der Durchschnittswert beträgt bei einem mittleren Kammerteilgewicht von 393 g 0,112 mm^2/g.
Aus dem Kurvenverlauf ist eine assymptotische Annäherung der relativen Gefäßweite bis an den Wert von 0,05 mm^2/g ersichtlich. Die kleinste Gefäßquerschnittsfläche, die ein Gramm Kammermyokard versorgt, unterschreitet bei nicht sklerotischen Gefäßen in unserem Beobachtungsgut die Grenze von 0,05 mm^2/g Ktg nicht.

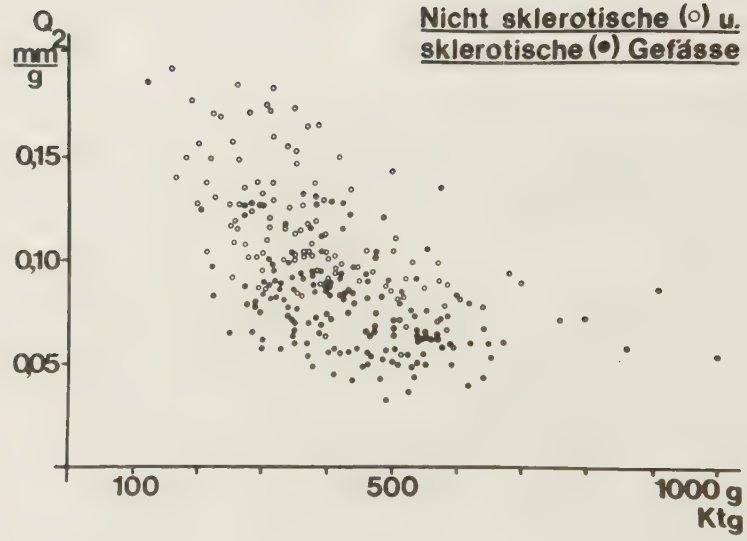

Abb. 19: Relative Gefäßquerschnittsfläche sklerotischer und nicht sklerotischer Kranzarterien und zugehöriges Kammerteilgewicht.

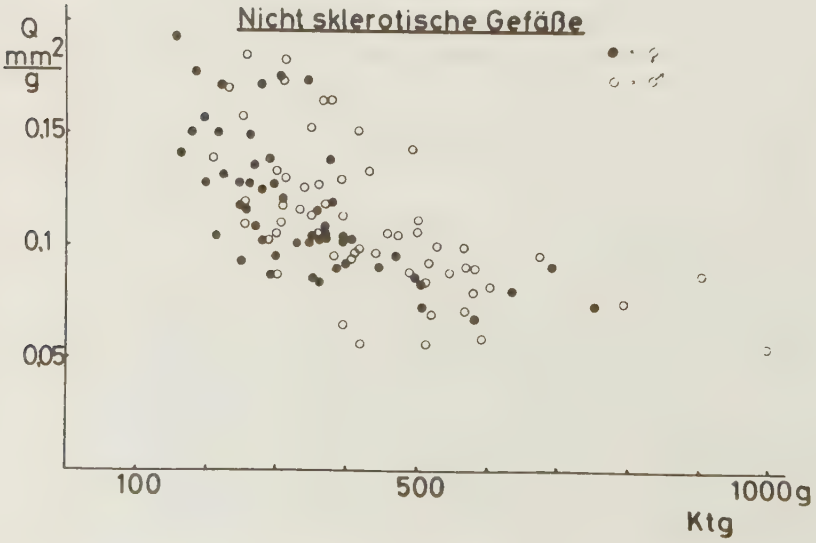

Abb. 20: Relative Gefäßquerschnittsfläche nicht sklerotischer Herzkranzarterien und zugehöriges Kammerteilgewicht.

Dieselbe Abhängigkeit wie in Abbildung 20 ist für die sklerotischen Gefäße in Abbildung 21 dargestellt, aus der ebenfalls eine Abnahme der relativen Gefäßweite mit steigendem Kammerteilgewicht hervorgeht. Die Regressionsgerade wird durch $y = -0{,}00010\ x + 0{,}126$, $r = -0{,}46$, $p < 0{,}001$ beschrieben.
Die größte relative Gefäßweite erreicht mit 0,185 mm^2/g Ktg fast die Maximalwerte der nicht sklerotischen Herzen, der geringste Wert unterschreitet jedoch mit 0,033mm^2/g deutlich den für diese angegebenen assymptotischen Wert von 0,05 mm^2/g. Allerdings wird dieser Grenzwert nur von 11 dieser 163 Herzen mit sklerotischen Gefäßen unterschritten. Die durchschnittliche relative Gefäßweite beträgt bei einem mittleren Kammerteilgewicht von 427 g 0,081 mm^2/g Ktg. Die 114 hier untersuchten Männerherzen haben mit 0,078 mm^2/g bei einem Durchschnittskammerteilgewicht von 452 g eine niedrigere relative Gefäßweite als die 49 Frauenherzen, die bei einem Durchschnittsgewicht von 369 g 0,088 mm^2/g erreichen.
Entsprechend den Abbildungen 13 und 14 wurde auch die Abhängigkeit der relativen Gefäßweite vom Kammerteilgewicht für sklerotische und nicht sklerotische Gefäße nach Geschlechtern getrennt in Säulendiagrammen dargestellt.
Die Abbildung 22 umfaßt dabei nicht sklerotische Gefäße, die Abbildung 23 sklerotische. Die relative Gefäßweite der Frauenherzen hat ihr Maximum mit durchschnittlich 0,165 mm^2/g bei den unter 200 g schweren Herzen. Bei den 200-299 g schweren Herzen beträgt sie 0,128 mm^2/g, bei den 300-399 g schweren 0,113 mm^2/g und bei den 400-499 g schweren Herzen 0,095 mm^2/g. Schließlich erreicht sie den niedrigsten Durchschnittswert mit 0,076 mm^2/g bei den Herzen mit einem Kammerteilgewicht von 500 - 599 g. Das eine Frauenherz zwischen 600 und 699 g hat eine relative Gefäßweite von 0,079 mm^2/g, die beiden über 700 g schweren Herzen erreichen einen Wert von 0,080 mm^2/g.

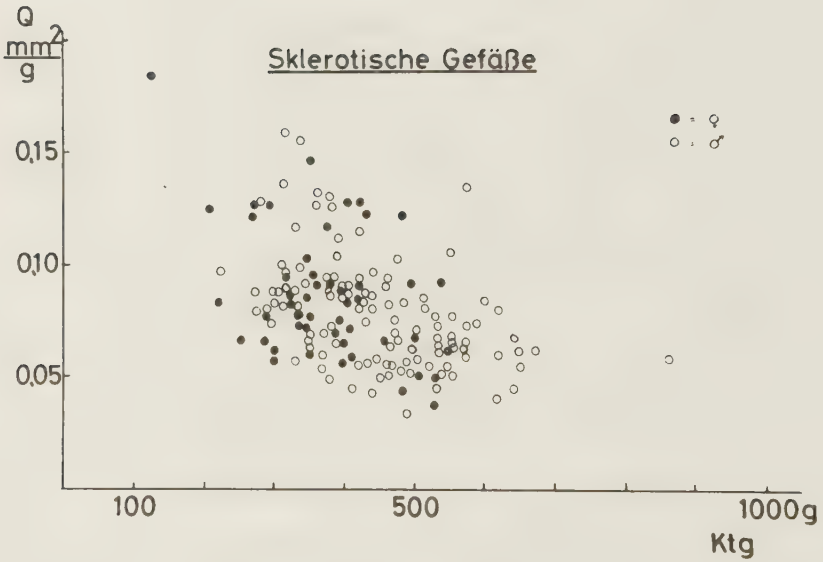

Abb. 21 : Relative Gefäßquerschnittsfläche sklerotischer Herzkranzarterien und zugehöriges Kammerteilgewicht.

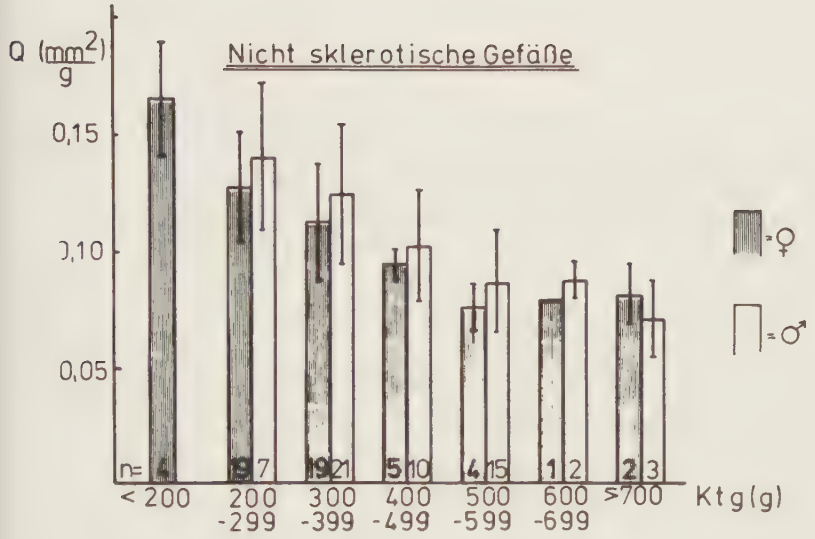

Abb. 22 : Durchschnittliche relative Gefäßquerschnittsfläche der Koronararterien von Kammerteilgewichtsgruppen von Herzen ohne Koronarsklerose.

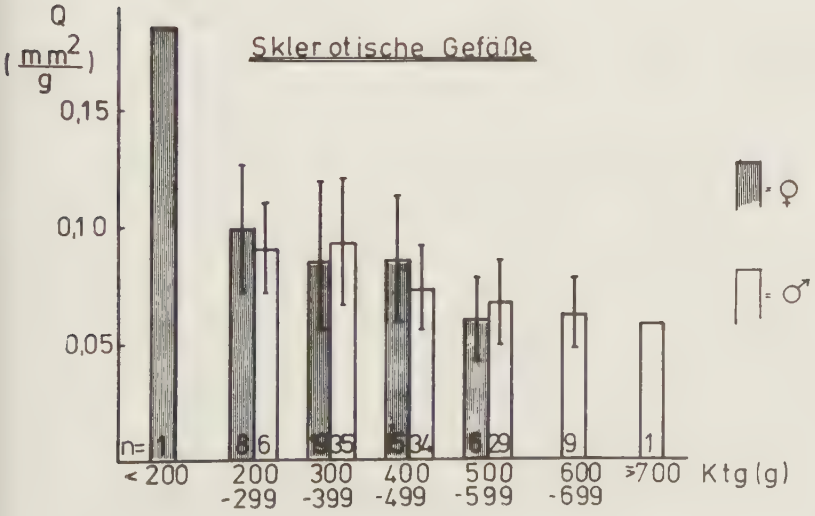

Abb. 23 : Durchschnittliche relative Gefäßweite der Koronararterien von Kammerteilgewichtsgruppen der Herzen mit Koronarsklerose.

Die Männerherzen zeigen ein ähnliches Verhalten wie die Frauenherzen. Die größte durchschnittliche relative Weite weist die Gruppe der 200 - 299 g schweren Herzen mit 0,140 mm^2/g auf. Sie sinkt bei den Herzen von 300 - 399 g auf 0,125 mm^2/g, bei denen von 400 - 499 g auf 0,102 mm^2/g ab, um schließlich bei der Gruppe von 500 - 599 g nur mehr 0,088 mm^2/g zu erreichen. Mit 0,088 mm^2/g erreichen die beiden 600 - 699 g schweren Herzen im Durchschnitt den gleichen Wert wie bei der vorhergehenden Gruppe. Die schwersten Herzen über 700 g Kammerteilgewicht haben schließlich die geringste relative Gefäßweite mit durchschnittlich 0,070 mm^2/g Kammerteilgewicht.
Wie in Abbildung 13 zeigt sich auch hier, daß die relativen Gefäßweiten der Frauenherzen fast aller Gruppen unter den Werten der Männerherzen liegen. Aber auch diese Differenzen sind statistisch nicht signifikant. Auch die Säulenfolge der sklerotischen Herzkranzgefäße, die aus Abbildung 23 zu ersehen ist, zeigt mit zunehmendem Kammerteilgewicht eine kontinuierliche Abnahme der relativen Gefäßweite. Das eine Herz unter 200 g überragt dabei mit einem Wert von 0,186 mm^2/g die Durchschnittswerte der folgenden Gruppen bei weitem. Die Durchschnittswerte der Frauenherzen betragen bei der Gruppe der 200-299 g schweren Herzen 0,0996 mm^2/g, bei der Gruppe von 300 - 399 g 0,0855 mm^2/g, bei der Gruppe von 400 -499 g 0,0867 mm^2/g und bei der Gruppe von 500 - 599 g 0,0599 mm^2/g. Die entsprechenden relativen Gefäßweiten der Männerherzen betragen 0,0913 mm^2/g bei der Gruppe von 200-299 g, 0,0942 mm^2/g bei der Gruppe von 300-399g, 0,0732 mm^2/g bei der Gruppe der 400-499 g, 0,0672 mm^2/g bei der von 500-599 g und 0,0607 mm^2/g bei der von 600-699 g schweren Herzen. Das eine Herz über 700 g hat eine relative Gefäßweite von 0,0584 mm^2/g Kammerteilgewicht.

Die bei nicht sklerotischen Gefäßen festgestellten geringeren Durchschnittswerte der relativen Gefäßweite der Frauenherzen in fast allen Gewichtsklassen, sind bei nicht sklerotischen Gefäßen nicht regelmäßig vorhanden.

3.4. Der Durchmesser der Herzkranzarterien in ihrer Beziehung zur dritten Wurzel des Kammerteilgewichts

Um eine Anpassung zwischen dem zweidimensionalen Parameter der Gesamtquerschnittsfläche der Herzkranzgefäße und dem dreidimensionalen Parameter des Kammerteilgewichts zu erreichen, ist in Abbildung 24 der Durchmesser eines virtuellen gemeinsamen Gefäßes des Herzens gegen die dritte Wurzel des Kammerteilgewichts aufgetragen. Sein Durchmesser errechnet sich aus dem arithmetischen Mittel der Durchmesser der weitesten Stelle der rechten Kranzarterie, des linken absteigenden und des linken umschlingenden Astes.
Damit wird die Beziehung zwischen Gefäßgröße und Kammerteilgewicht in der linearen Dimension hergestellt.

In diese Untersuchungsreihe wurden 25 fetale und Kinderherzen sowie 112 nicht sklerotische Erwachsenenherzen mit einem Kammerteilgewicht zwischen 2,2 und 1010 g aufgenommen. Zwischen mittlerem Durchmesser der drei Koronargefäße und der dritten Wurzel aus dem Kammerteilgewicht zeigt sich ein deutlich linearer Zusammenhang, der durch die Regressionsgerade $y = 0{,}52\ x + 0{,}12$ gegeben ist.
Der Korrelationskoeffizient ist mit $r = 0{,}91$ $p < 0{,}001$ signifikant.

Damit erreicht dieser Kurvenverlauf zusammen mit dem der Beziehung zwischen Gesamtquerschnittsfläche der Kranzgefäße und Kammerteilgewicht der Kinderherzen unter allen in vorliegender Arbeit untersuchten Beziehungen zwischen Kranzgefäßgröße und Herzgewicht die engste Korrelation.

3. 5. Kinderherzen

Um das Verhalten der Herzkranzgefäße nicht nur nach abgeschlossenem Körperwachstum, sondern auch bei der physiologischen Zunahme des Kammerteilgewichts während des prae- und postnatalen Wachstums zu erfassen, wurden 25 Herzen von Feten und Kindern (9 weiblichen und 16 männlichen) in die Untersuchung aufgenommen.
Ihr Kammerteilgewicht reichte von 2,2 g bis 130 g.
Der jüngste Fetus war eine Totgeburt im Alter von 24 Wochen post menstruationem, das älteste Kind dieser Gruppe war 10,5 Jahre alt.
Die Beziehung zwischen der Gesamtgefäßweite der Herzkranzgefäße und dem zugehörigen Kammerteilgewicht zeigt die Abbildung 25.
Hier ist ein konstanter, annähernd linearer Anstieg der Gefäßweite mit der Gewichtszunahme festzustellen.
Die geringste Gefäßweite beträgt 1,53 mm^2, die größte 15,59 mm^2. Die Regressionsgerade ist durch $y = 0{,}0986 x + 2{,}66$ definiert. Der Korrelationskoeffizient erreicht den sehr hohen Wert von $r = 0{,}88$ und ist mit $p < 0{,}001$ signifikant. Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Herzen gehen aus der Abbildung nicht hervor, weshalb auch auf eine für beide Geschlechter getrennt durchgeführte Berechnung der Regression verzichtet wurde.

Abb. 24: Mittlerer Durchmesser der drei Hauptäste der Koronararterien von Kinder- u. Erwachsenenherzen ohne Koronarsklerose in Abhängigkeit von der dritten Wurzel des zugehörigen Kammerteilgewichts.

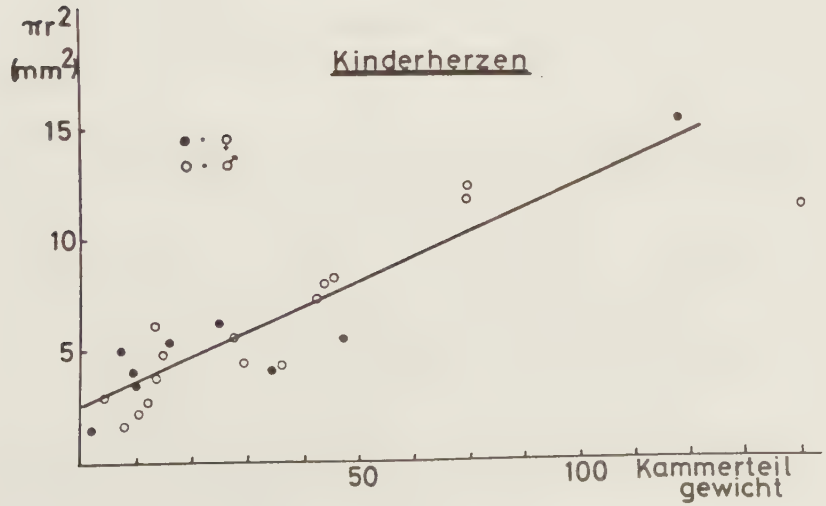

Abb. 25: Gesamtquerschnittsfläche der Koronararterienäste von

Die Abbildung 26 zeigt den Zusammenhang zwischen relativer Gefäßweite Q und Kammerteilgewicht der Kinderherzen. Der exponentielle Kurvenverlauf der Punkteschar ist noch deutlicher erkennbar als bei den nicht sklerotischen Erwachsenenherzen der Abbildung 20.
Der Korrelationskoeffizient der errechneten Regressionsgeraden $y = -0,0031 x + 0,375$ ist bedingt durch den exponentiellen Verlauf der Punkteschar mit $r = -0,596$ $p < 0,01$ nur sehr gering. Bei der Berechnung einer nicht linearen Regression, die dem wahren Verlauf der Punkte besser entspräche, fiele die Korrelation sehr viel höher aus. Die größte relative Gefäßweite der Kinderherzen beträgt bei dem kleinsten untersuchten Herzen, dessen Kammerteilgewicht nur 2,2 g wog 0,695 mm^2/g, die geringste wurde mit 0,0888 mm^2/g bei dem größten Kinderherzen (130 g Kammerteilgewicht) gemessen.
Die größte Querschnittsfläche, die ein Gramm Kammermyokard versorgt, wurde bei diesem erwähnten fetalen Herzen gefunden. Diese ist um mehr als das 13-fache größer als die kleinste bei einem Herzen mit nicht sklerotischen Gefäßen gemessene relative Gefäßweite von 0,053 mm^2/g, die zu einem Erwachsenenherz gehörte, dessen Kammerteilgewicht 1010 g wog.
Um das Verhalten der relativen Gefäßweite der Koronargefäße bei Kinder- und Erwachsenenherzen im Zusammenhang zu erfassen, wurden sowohl die Durchschnittswerte der Kinder als auch die der Erwachsenen in einem Histogramm dargestellt. In der Abbildung 27 wurden die Kinderherzen in vier Gewichtsklassen eingeteilt. Die Erwachsenenherzen mit nicht sklerotischen Herzkranzgefäßen wurden in den sieben Gewichtsklassen zusammengefaßt, die bereits in der Abbildung 20 dargestellt sind, mit dem Unterschied, daß sie dort nach Geschlechtern getrennt aufgezeichnet wurden.

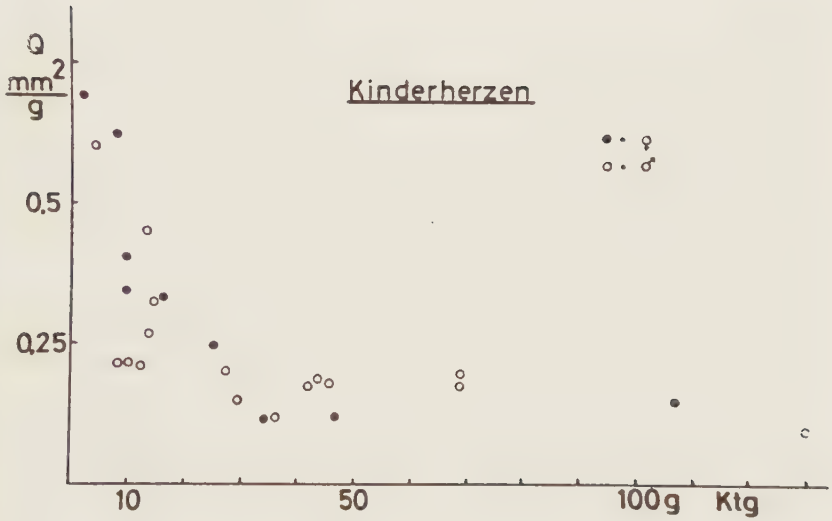

Abb. 26 : Relative Gesamtquerschnittsfläche der Koronararterien von Kinderherzen und zugehöriges Kammerteilgewicht.

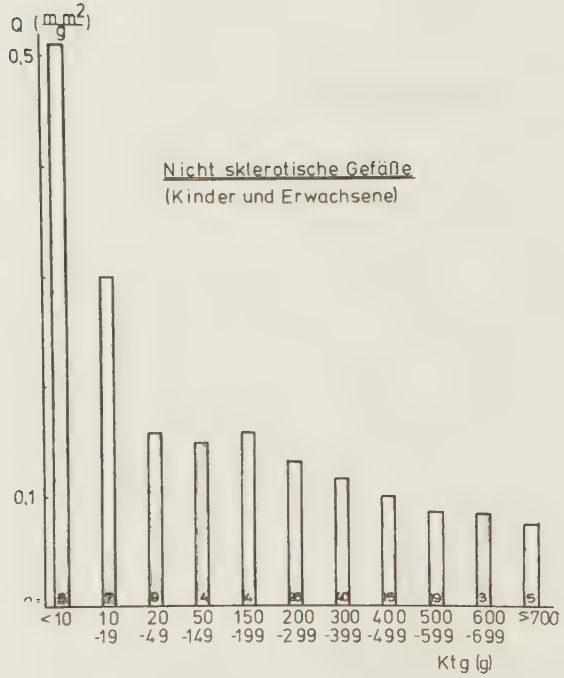

Abb. 27 : Relative Gesamtquerschnittsfläche der Koronararterien von Kindern- und Erwachsenenherzen ohne Koronarsklerose

Die Gruppe der Herzen, deren Kammerteilgewicht unter 10 g beträgt, hat eine durchschnittliche relative Gefäßweite von 0,511 mm^2/g. Die nächst schwerere Gruppe von 10-19 g erreicht 0,308 mm^2/g, die von 20-49 g 0,165 und schließlich die Gruppe von 50-149 g nur noch 0,145 mm^2/g Kammerteilgewicht. Bevor die relative Gefäßweite mit steigendem Herzgewicht weiter absinkt, erreicht die Gruppe der leichtesten Erwachsenenherzen zwischen 150-199 g einen etwas höheren Q-Wert, der mit 0,165 genau dem der Gewichtsklasse 20-49g entspricht. Von nun an nimmt die durchschnittliche Gefäßweite pro Gramm Kammermyokard konstant ab von 0,1312 mm^2/g bei den 200-299g schweren Herzen über 0,1192 mm^2/g bei den 300-399 g schweren, 0,0998 mm^2 bei den 400-499 g schweren, 0,0857 bei den 500-599 g schweren und 0,0848 mm^2 bei den 600-699 g schweren bis zu 0,0704 mm^2/g Kammerteilgewicht bei den über 700 g schweren Herzen.
Zieht man die Extremwerte - wie oben bereits beschrieben heran- resultiert sogar eine Verkleinerung der relativen Gefäßweite der schwersten Erwachsenenherzen um den Faktor 13.

3.6. Weite der Herzkranzgefäße und Größe des zugehörigen Versorgungsgebietes

Aus den Abbildungen 28 - 33 geht die Beziehung zwischen der Gefäßweite nicht sklerotischer und sklerotischer Herzkranzgefäße und der Größe ihres Versorgungsgebietes (in planimetrisch ermittelten Flächeneinheiten) hervor.

In der Abbildung 28 ist die Querschnittsfläche der 61 nicht sklerotischen Rami descendentes der Arteria coronaria sinistra einschließlich eines eventuell vor-

handenen Trifurkationsastes gegen das planimetrisch ermittelte zugehörige Versorgungsgebiet aufgetragen. Es wurden hierfür 33 weibliche und 28 männliche Herzen ausgewertet. Dabei fällt auf, daß nach einem anfänglichen Anstieg der Punkteschar bei den höheren Werten eine sehr große Streuung auftritt. Der Kurvenverlauf vermittelt den Eindruck, daß die Querschnittsfläche von LA bei einer Größe des Versorgungsgebietes über 1000 Myokardflächeneinheiten wieder etwas absinkt. Diese Tendenz kommt auch in dem negativen Anstieg der Funktion der Regressionsgeraden für die Gefäße der männlichen Herzen $y = -0,0012\ x + 17,48$ zum Ausdruck. Der Korrelationskoeffizient ist hierbei jedoch mit $r = -0,135$ $p > 0,1$ nicht signifikant. Die Regressionsgerade für die Gefäße der weiblichen Herzen $y = 0,0082\ x + 5,73$ erreicht mit $r = 0,610$ $p < 0,001$ eine hohe Signifikanz. Bei der Berechnung der Regressionsgeraden $y = 0,0014\ x + 12,56$ für alle 61 Gefäße ist jedoch der Korrelationskoeffizient mit $r = 0,151$ $p > 0,1$ wiederum nicht signifikant. Es lassen sich somit für den Kurvenverlauf keine eindeutigen Aussagen treffen.
Der Mittelwert der Querschnittsfläche von LA beträgt 14,10 mm^2, die Größe des Versorgungsgebietes hat eine Durchschnittsgröße von 1065 Flächeneinheiten.
Die Größe der Querschnittsfläche des Ramus ciscumflexus der Arteria coronaria sinistra ist für die gleichen Herzen in der folgenden Abbildung 29 dargestellt, bei der der lineare Anstieg der Gefäßweite mit zunehmender Größe des Versorgungsgebietes sehr viel deutlicher als für LA zum Ausdruck kommt. Lediglich zwei Gefäße, deren zugehörige Versorgungsgebiete über 1500 Flächeneinheiten umfassen, haben geringere Gefäßweiten als nach dem Verlauf der übrigen Punkte zu erwarten ist.

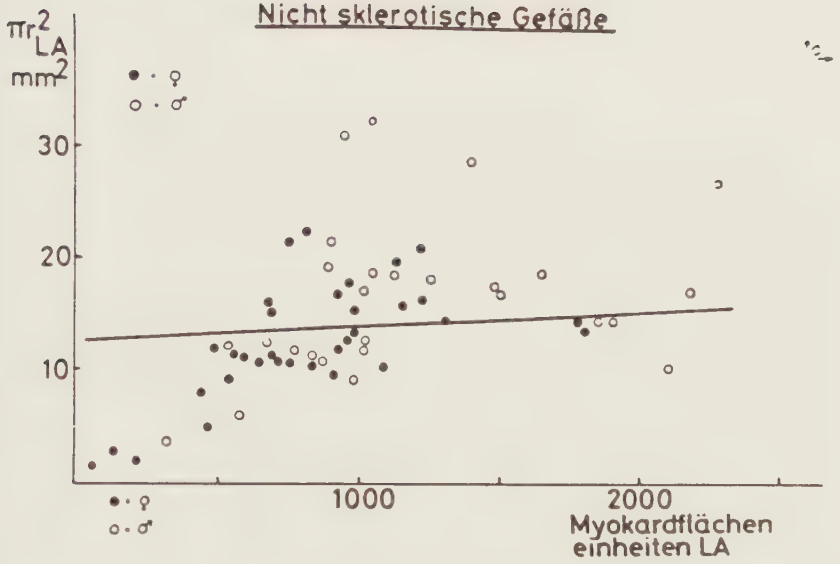

Abb. 28: Querschnittsfläche des linken absteigenden Koronararterienastes von Erwachsenenherzen ohne Koronarsklerose und Größe des zugehörigen Versorgungsgebietes.

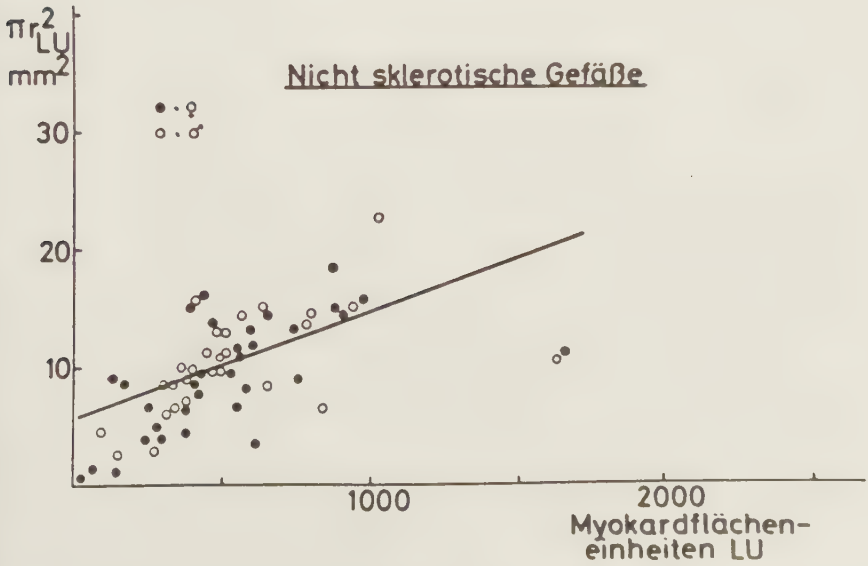

Abb. 29: Querschnittsfläche des linken umschlingenden Koronararterienastes von Erwachsenenherzen ohne Koronarsklerose und Größe des zugehörigen Versorgungsgebietes.

Die Regressionsgerade $y = 0{,}0082\ x + 5{,}64$ ist mit der Regressionsgeraden der Gefäßweiten von LA für weibliche Herzen fast identisch, während der Korrelationskoeffizient mit $r = 0{,}562$ dagegen einen geringeren Wert erreicht. Er ist jedoch immer noch mit $p < 0{,}001$ signifikant.
Der Ramus circumflexus hat im Durchschnitt eine Querschnittsfläche von 9,90 mm^2 bei einer mittleren Größe seines Versorgungsgebietes von 521 Flächeneinheiten. Damit ist im Mittel seine Querschnittsfläche fast um ein Drittel kleiner als die von LA; während das Versorgungsgebiet um über die Hälfte kleiner ist.
Die Durchschnittswerte der Frauen- und Männerherzen betragen 9,43 mm^2 bei einer Größe des versorgten Myokardanteils von 512 Flächeneinheiten bzw. 10,45 mm^2 bei 531 Flächeneinheiten. Die Weite von LU weiblicher Herzen ist also wie bereits für LA gezeigt, kleiner als die männlichen Herzen.

Prinzipiell ähnliche Verhältnisse wie für LA und LU finden sich auch in der Abbildung 30 für die rechte Koronararterie der 61 untersuchten Herzen. Allerdings zeigt sich hier ein steilerer Anstieg der Gefäßweite bei kleinem Versorgungsgebiet mit einem allmählichen Übergang in einen flacheren Kurvenverlauf bei den grösseren Versorgungsgebieten. Trotz dieses angedeuteten nicht linearen Verhaltens der Beziehung zwischen der Gefäßquerschnittsfläche und der Größe des Versorgungsgebietes ist die Regressionsgerade $y = 0{,}0077\ x + 4{,}76$ mit $r = 0{,}71$, $p < 0{,}001$ hoch signifikant. Die Gerade zeigt damit einen etwas flacheren Anstieg als die Regressionsgeraden LA und LU.
Die Querschnittsfläche von R für alle 61 Herzen liegt im Mittel bei 12,00 mm^2, die zugehörige Versorgungsgebietsgröße beträgt 937 Flächeneinheiten.

Sowohl die durchschnittliche Gefäßweite als auch die mittlere Größe des Versorgungsgebietes liegt damit zwischen den entsprechenden Werten von LA und LU. Die Querschnittsfläche von R und die Größe des Versorgungsgebietes sind bei Männerherzen mit 13,26 mm^2 bzw. 1062 Myokardflächeneinheiten größer als bei Frauenherzen, die 10,93 mm^2 bzw. 831 Flächeneinheiten erreichen.

Dieselben Beziehungen wie in den Abbildungen 29-30 sind in den Abbildungen 31-33 für 64 sklerotische Erwachsenenherzen dargestellt. In dieser Gruppe befanden sich 19 Frauenherzen und 45 Männerherzen.

Die Abbildung 31 zeigt die Beziehung der größten Weite des Ramus descendens der Arteria coronaria sinistra für sklerotische Gefäße zu ihrem Versorgungsgebiet. Die Punkteschar folgt hier einem linear ansteigenden Kurvenverlauf, der durch die Funktion $y = 0{,}0046\ x + 6{,}28$, $r = 0{,}444$, $p < 0{,}001$ beschrieben wird. Die durchschnittliche Querschnittsfläche von LA bei Arteriosklerose beträgt bei einer mittleren Größe des Versorgungsgebietes von 1311 Flächeneinheiten 12,31 mm^2. Dies liegt deutlich unter dem Wert von 14,10 mm^2 der nicht sklerotischen Gefäße, obwohl diese im Durchschnitt einen kleineren Myokardanteil versorgen.

Für LU (Abb.32) errechnet sich die Regressionsgerade der Querschnittsfläche bei Koronarsklerose mit $y=o{,}0025\ x + 7{,}48$. Der Korrelationskoeffizient ist mit $r = 0{,}179$ und $p > 0{,}1$ nicht mehr signifikant. Eine Zunahme der Gefäßweite läßt sich in Abhängigkeit von der Größe des Versorgungsgebietes aus der Zeichnung nicht ersehen. Lediglich zwei Punkte mit sehr großen Versorgungsgebieten erreichen extrem hohe Werte für die Gefäßweite.

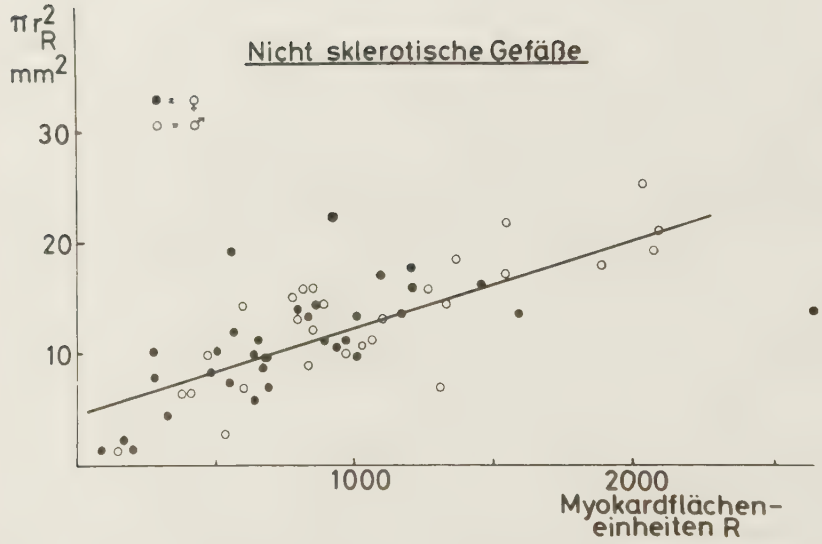

Abb. 30: Querschnittsfläche der rechten Kranzarterie von Herzen ohne Koronarsklerose und Größe des zugehörigen Versorgungsgebietes.

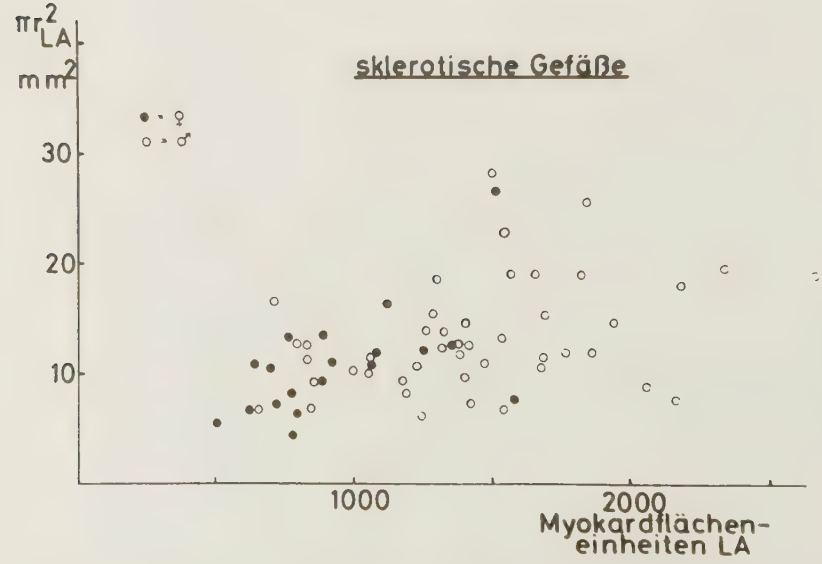

Abb. 31: Querschnittsfläche des linken absteigenden Koronararterienastes von Herzen mit Koronarsklerose und Größe des zugehörigen Versorgungsgebietes.

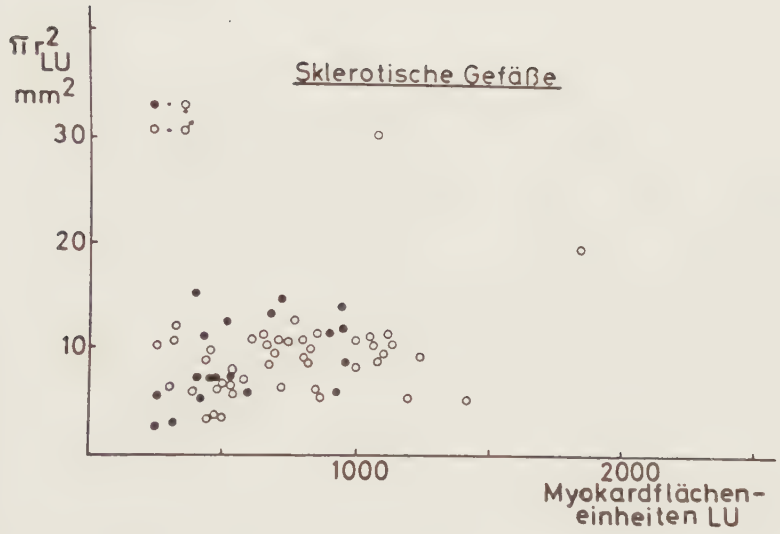

Abb. 32: Querschnittsfläche des linken umschlingenden Koronararterienastes von Herzen mit Koronarsklerose und Größe des zugehörigen Versorgungsgebietes.

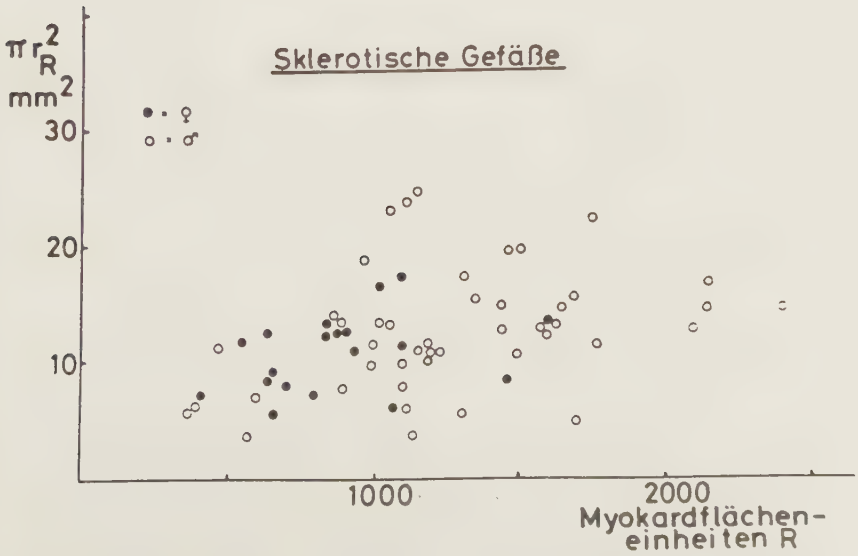

Abb. 33 : Querschnittsfläche der rechten Kranzarterie von Herzen mit Koronarsklerose und Größe des zugehörigen Versorgungsgebietes.

Der Mittelwert der Querschnittsfläche von LU der 64 Herzen mit Koronarsklerose beträgt 9,12 mm^2, der für die Größe des zugehörigen Versorgungsgebietes 658 Flächeneinheiten. Damit ist das Versorgungsgebiet von LU nicht sklerotischer Herzen um 137 Flächeneinheiten kleiner, die entsprechende Gefäßquerschnittsfläche jedoch um 0,78 mm^2 größer als es den Durchschnittswerten der sklerotischen Herzen entspricht. Beim Vergleich der Mittelwerte der Gefäßweite und des Versorgungsgebietes von LU und LA der sklerotischen Herzen erreichen jene ebenso, wie es bei den nicht sklerotischen Gefäßen gezeigt wurde, geringere Werte.

Bei der Betrachtung der Abbildung 33, in der die gleiche Beziehung für die rechte Koronararterie dargestellt ist, fällt deutlicher als in der vorigen Abbildung ein geringer Anstieg der Gefäßweite mit zunehmender Größe des Versorgungsgebietes auf. Die Regressionsgerade läßt sich durch $y = 0{,}00269\ x + 8{,}98$, $r = 0{,}273$, $p < 0{,}05$ ausdrücken und entspricht damit weitgehend der Regressionsgeraden für LU der sklerotischen Gruppe.
Der Mittelwert für die Versorgungsgebietsgröße wurde mit 1110 Flächeneinheiten errechnet, der für die Querschnittsfläche des Gefäßes mit 11,98 mm^2. Damit liegen diese beiden Mittelwerte von R zwischen den entsprechenden Durchschnittswerten von LU und LA.
Die mittlere Querschnittsfläche von R bei Herzen mit Koronarsklerose ist nur 0,01 mm^2 geringer als die entsprechende Fläche bei nicht sklerotischer Arteria coronaria dextra. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß das Versorgungsgebiet um 173 Flächeneinheiten größer ist.
Beim Vergleich zwischen sklerotischen und nicht sklerotischen Gefäßen ist die Diskrepanz zwischen Querschnittsfläche und dem versorgten Myokardgebiet bei R nicht so ausgeprägt, wie es bei dem Ramus descendens arteriae coronariae sinistrae gefunden wird.

IV. DISKUSSION

In der Einleitung wurde bereits erwähnt, daß sich aus den Arbeiten, die sich mit der Größe der Herzkranzgefäße beschäftigen, sehr unterschiedliche Angaben über das Verhalten der Gefäßweite in Bezug auf das Lebensalter und das Herzgewicht ergeben.
Der Interpretation der Ergebnisse und einem Vergleich mit den hier vorliegenden Aussagen soll eine Betrachtung der von den einzelnen Autoren verwendeten Methoden der Größenbestimmung der Herzkranzgefäße vorausgehen.
Eine häufig benutzte Methode der Größenbestimmung der Koronararterien besteht darin, die frischen oder fixierten Gefäße der Länge nach aufzuschneiden und den inneren Umfang an definierter Stelle zu messen(RÖSSLE u. ROULET, 1932, MILLES u. DALESSANDRO, 1963, ORLANDINI, 1968, RESTREPO u. MITARB., 1973).
WILLENS u. MITARB. (1966) bestimmten planimetrisch die gesamte äußere Oberfläche der drei Hauptäste, indem sie die vom Herzen abpräparierten Kranzgefäße aufschnitten, flach ausbreiteten und die Fläche der nachgezeichneten Konturen der Gefäße ausmaßen.
PAULSEN u. MITARB. (1975) gewannen die Weite der Koronargefäßabgänge durch Umfangmessung der aufgeschnittenen Ostien.
Die elastischen Wandeigenschaften der Gefäße stellen bei diesen Methoden, denen das Längsaufschneiden der Arterien gemeinsam ist, eine beträchtliche Fehlerquelle der Umfangmessung dar. Bis heute existieren noch keine genauen quantitativen Angaben darüber, wie sich die Länge der Koronargefäße nach ihrer Entfernung aus dem umgebenden Gewebe und auch der Gefäßumfang nach dem

Aufschneiden der Arterienwand in Längsrichtung ändert. Die große Anzahl der elastischen Fasern in der Koronararterienwand läßt eine Retraktion in beiden Richtungen, die zu einer Unterbewertung der Gefäßweite führen würde, möglich erscheinen.

Ein Vergleich der aus unseren Meßergebnissen errechneten Umfänge normalgewichtiger Herzen mit den Gefäßumfängen, die von RÖSSLE u. ROULET (1932), ORLANDINI (1968), RESTEREPO et al. (1973) und PAULSEN u. MITARB. (1975) angegeben wurden, ergibt für fast alle Gefäßlumina deutlich geringere Durchmesser in diesen Untersuchungen. Sie dürften durch eine postmortale Retraktion bedingt sein. Lediglich für den linken Hauptast konnte ORLANDINI (1968) gegenüber unseren Messungen eine größere Weite ermitteln.

Diese Retraktion läßt auch aufgrund der unterschiedlichen elastischen Wandeigenschaften einen Größenvergleich zwischen sklerotischen und nicht sklerotischen Gefäßen nicht zu. Der Gefäßumfang,der durch Arteriosklerose weniger elastischen Gefäße, würde im Vergleich mit den zartwandigen Koronararterien zu groß ausfallen (SCHOENMACKERS, 1963).

Beim Vorhandensein von fleckförmigen, nicht konzentrisch stensierenden arterio-sklerotischen Beeten ergibt sich bei Anwendung dieser Methode eine weitere Fehlerquelle. Der Umfang des längsgeschnittenen Gefäßes läßt bei exzentrischen Polstern keine Rückschlüsse auf die Lumeneinengung zu.

Ein weiterer Faktor, der bei RESTREPO et al. (1973) und WILLENS u. Mitarb. (1966) die Ergebnisse beeinflussen kann, liegt in der Formalinfixierung der Gefäße.

LUTHER (1966) glaubte zwar aufgrund seiner Beobachtungen, daß die Koronararterienwände bei einer Formalinfixierung nicht schrumpfen, doch konnte er diese Aussage nicht anhand exakter Messungen belegen.
Dagegen stellte RABE (1973) an 122 von 129 formalinfixierten ringförmigen Koronargefäßsegmenten eine durchschnittliche Abnahme des Durchmessers um 20% fest.
Damit erscheint bei diesen Methoden die Aussagekraft der absoluten Maße fragwürdig.
Da die Schrumpfung durch die Formalinfixierung an sklerotischen und nicht sklerotischen Arterien möglicherweise unterschiedlich stark ausgeprägt ist, kann auch ein Größenvergleich dieser beiden Gruppen zu unexakten Ergebnissen führen.
Neben der Umfangmessung an längsaufgeschnittenen Koronararterien wird zur Größenbestimmung auch häufig der Lumendurchmesser bzw. die Querschnittsfläche des Lumens an senkrecht zur Gefäßachse herausgeschnittenen Herzkranzgefäßsegmenten oder histologischen Schnitten ermittelt.
LUTHER (1966) trennte dazu ein 2 mm breites Gefäßstück mit umgebendem Fettgewebe und Myokard ab und fixierte es in 4%-iger Formalinlösung. Nach Fotografieren und 20-fach vergrößerter Projektion, wurde der innere Umfang mit einem Kartographenrädchen gemessen.
VOGELBERG (1957) bestimmte den Durchmesser der formalinfixierten Ostien mit Hilfe einer Feinmeßlochlehre, wobei der Druck mit dem das Meßinstrument in die Gefäßabgänge eingeführt wurde dem subjektiven Empfinden des Untersuchers überlassen blieb.
Diesen Nachteil glich RABE (1973) dadurch aus, daß die Lochlehre mit Hilfe einer Federwaage unter konstantem Druck in den fixierten Gefäßring gezogen wurde, um so die Einzelmessungen besser zu standardisieren.

An Paraffinschnitten, bei denen es zu einer Gefäßwandschrumpfung kommt, führten ARAI u. MITARB. (1968) ihre Messungen durch, indem sie aus der Länge der Elastica interna den Radius der Gefäße berechneten. NEUFELD u. MITARB. (1962) benutzten ebenfalls Paraffinschnitte, um die äußeren Durchmesser der Koronargefäße zu messen. Auch LEON und BLOOR (1968) planimetrierten die Fläche des Herzkranzgefäßlumens von Rattenherzen an histologischen Präparaten.
Bei den in dieser Reihe aufgezählten Methoden trägt sowohl die Loslösung der Gefäßsegmente aus dem umgebenden Gewebe, die Formalinfixierung, als auch die weitere Bearbeitung bei der Einbettung, zu einer Verfälschung der Meßergebnisse bei.
SCHOENMACKERS (1948,1949) bestimmte die Kreisringfläche der Herzkranzgefäße, die sogenannte f u n k t i o n i e r e n d e M a s s e , ohne daß er die Methodik näher beschrieben hätte. Das von SCHOENMACKERS für die Größenbestimmung der Koronargefäße gewählte Maß der funktionierden Masse erlaubt außerdem keinen Rückschluß auf das für die Blutversorgung des Myokards wichtige Gefäßlumen.
EHRICH u. MITARB. (1932) und SAGEBIEL (1935) bestimmten den Durchmesser des Lumens an Gefrierschnitten, die nach SAGEBIEL im Gegensatz zu Paraffinschnitten nicht zu einer Gefäßschrumpfung führen. Außerdem wurden die Gefrierschnitte von Gefäßen hergestellt, die vorher unter physiologischem Druck mit $BaSO_4$-Gelatine-Gemisch gefüllt wurden.

Die postmortale Coronarangiographie wendete bereits CRAINICIANU (1921) an. Er gab in seiner Untersuchung jedoch keine absoluten Maße für die Gefäßgrößen an, sondern verglich lediglich die Weite der linken mit der rechten Herzkranzarterie.

Während EHRICH u. MITARB. (1932) und SAGEBIEL (1935) die Gefäßweite an Koronarsegmenten erfaßten, die aus den unter Druck mit Kontrastmittel injizierten Herzkranzarterien herausgeschnitten wurden, bestimmten alle anderen Autoren, die sich der postmortalen Coronarangiographie bedienten, den Gefäßdurchmesser an den Röntgenbildern der Herzen. Unterschiedliche Techniken betreffen dabei hauptsächlich den Injektionsdruck.
RODRIGUEZ u. ROBBINS (1959), die sich in ihrer Methodik auf SCHLESINGER (1938) berufen, verwendeten bei der postmortalen Coronarangiographie die Coronareinbindung und einen Injektionsdruck von 200 mm Hg. Die Gefäßweitenmessungen wurden an Röntgenaufnahmen der Herzen durchgeführt. Außerdem bestimmten sie die Kapazitäten des arteriellen Koronargefäßbaums als Menge des injizierten Kontrastmittels.

Ähnlich gingen HARRISON u. WOODS (1949) vor, indem sie sich ebenfalls der Koronareinbindung bedienten, die Durchmesser an den von den injizierten Herzen hergestellten Röntgenbildern bestimmten und daraus die Querschnittsflächen errechneten. Sie benutzten zur Injektion einen Druck von 90 mm Hg oder bei klinisch bekanntem Blutdruck den diastolischen Druck.

Auch ROSE u. Mitarb. (1967) verwendeten im wesentlichen die gleiche Methode. Der Injektionsdruck betrug jedoch nur 80 mm Hg.

WOODS (1961) dagegen injizierte die Koronargefäße unter einem Druck von 150 mm Hg. Er bestimmte ihren Durchmesser nicht direkt an den Röntgenbildern, sondern an ihrer 10-fach vergrößerten Projektion.

ALONSO u. MITARB. (1972) präparierten die unter einem Druck von 100 mm Hg mit Kontrastmittel gefüllten Herz-

kranzarterien vom umgebenden subepicardialen Fettgewebe und vom Myokard ab und stellten von diesen Röntgenbilder her, an denen der Durchmesser der Gefäße ausgemessen werden konnte.

Eine weitere Methode, die Größe der Herzkranzgefäße darzustellen, besteht darin, einen Kunstharzausguß des Gefäßsystems herzustellen und an diesem die Messungen durchzuführen. Diese Methode verwendeten STELMASIAK und OSEMLAK (1972) in ihrer Studie an zwei menschlichen Herzen. Für LEON u. BLOOR (1966) war der Durchmesser der Kunstharzausgüsse der Hauptgefäßstämme bei Rattenherzen ein Maß für die Größe der Kranzarterien, während STEVENSON u. MITARB.(1964) und KERR und MITARB. (1968) bei ihren experimentellen Untersuchungen an Rattenherzen hierfür das Gewicht des Gefäßausgusses heranzogen.
Der Vorteil der in vorliegender Arbeit verwendeten Methodik der postmortalen Koronarangiographie gegenüber den anderen Arbeitsmethoden, liegt in der Konstanz des Injektionsdruckes.
Nicht nur Aufschneiden der Koronarien und ihr Herauslösen aus dem umgebenden Gewebe verändert ihr Lumen, sondern auch der auf die Gefäßwand wirkende Injektionsdruck.
Nach den Untersuchungen von KÖHLER u. KÖHLER (1975) ändert sich die Gefäßweite mit zunehmendem intraarteriellem Druck in den unteren Druckbereichen sehr stark, während sie bei einer Druckerhöhung im physiologischen Bereich von 75-200 mmHg nur noch wenig zunimmt. Deswegen sollten alle Kalibermessungen an Koronargefäßen unter physiologischem Druck durchgeführt werden.

Diese Vorbedingung für eine korrekte Messung der lichten Weite, ist bei allen an postmortalen Koronar-

angiographien durchgeführten Größenbestimmungen erfüllt. Die hierbei verwandten Injektionsdrucke bewegten sich zwischen 80 mm Hg (ROSE u. Mitarb., 1967) und 200 mm Hg (RODRIGUEZ u. ROBBINS, 1959).
Diese großen Druckunterschiede führen jedoch nur zu einer geringen Änderung des Gefäßdurchmessers und spielen für die Größenbestimmung keine wesentliche Rolle.

Die Totenstarre stellt ebenfalls einen Faktor mit bisher weitgehend unbekanntem Einfluß auf die Gefäßweite dar. Möglicherweise kann die Totenstarre des Myokards bei einem intramuralen Verlauf der Koronararterien, der bei 57% aller Herzen bei einem der drei Hauptäste vorhanden sein soll (VON LÜDINGHAUSEN, 1975), zu einer Verringerung der Weite führen.

In unserer Untersuchung wurde die Weite der nicht sklerotischen Gefäße von totenstarren und schlaffen Herzen untersucht. Bezogen auf das gleiche Kammerteilgewicht, ergab sich für die beiden Gruppen kein Unterschied. Es muß hierbei jedoch die kleine Zahl der Herzen, aus der sich die einzelnen Gewichtsklassen zusammensetzen (bis maximal 5 Herzen), Berücksichtigung finden.

Bei den Gefäßkalibermessungen an intravitalen Koronarangiographien muß ein durch den Herz-Film-Abstand bedingter Vergrößerungsfaktor berücksichtigt werden. Dieser Fehler kann jedoch durch die Messung der Katheterspitze am Röntgenbild und der hieraus berechneten Gefäßweite vermieden werden (VAN TASSEL u. MITARB., 1972; LEWIS u. GOTSMAN, 1973) oder es wird ein Objekt bekannter Größe in Höhe der Herzspitze aufgenommen (MAC ALPIN u. MITARB., 1973)

Eine unscharfe Darstellung der Gefäßkontur, die die Meßgenauigkeit beeinträchtigt, läßt sich bei der intravitalen Koronarangiographie nicht vermeiden. Die Gewichtsbestimmung des Herzens ist intravital ebenfalls nur näherungsweise möglich.
Deswegen verglichen diese Autoren die Größe der Koronargefäße nicht innerhalb verschiedener Herzgewichtsgruppen, sondern innerhalb verschiedener Krankheitsbilder, die zu einer Herzhypertrophie führen (LEWIS u. GOTSMAN, 1973; MAC ALPIN et al. , 1973). Lediglich KOBER et al. (1972) korrelierten die Gefäßgröße mit dem Sokolow-Lyon-Index im EKG als Maß der Herzmuskelhypertrophie.
Die Maße der Gefäßdurchmesser gesunder, nicht sklerotischer Koronargefäße von nicht hypertrophierten Herzen liegen bei MAC ALPIN u. MITARB. (1973), LEWIS und GOTSMAN (1973) und RAFFLENBEUL u. MITARB. (1975) durchschnittlich um 15 % unter den von uns gemessenen Werten. Die Gabe von Nitroglycerin, während der intravitalen Koronarangiographie, führt zu einer Erweiterung der Kranzarterien um durchschnittlich 10-20% (RAFFLENBEUL u. MITARB.).
Unter Berücksichtigung dieser Weitenzunahme, entsprechen die intravital gefundenen Gefäßweiten ziemlich genau den,in unserer Untersuchung gefundenen Durchschnittsgrößen der Herzkranzgefäße.

Sollen die verschiedenen Gefäßgrößen, die die Autoren ermittelten, miteinander verglichen werden, müssen die Messungen an identischen Stellen durchgeführt worden sein. Einige Autoren bestimmten die Weite des Ostiums (VOGELBERG, 1957, SCHOENMACKERS, 1963; PAULSEN u. MITARB., 1975), da sie den Gefäßabgang als die für die Blutversorgung des Myokards entscheidende Stelle betrachteten.

In den meisten Arbeiten wurde die Herzkranzgefäßgröße kurz nach dem Ostium der rechten Kranzarterie, die der linken ebenfalls nach dem Ostium oder direkt vor der Bifurkation, die des Ramus circumflexus und des Ramus descendens anterior kurz nach der Bifurkation bestimmt. ALONSO u. MITARB. und MAC ALPIN u. MITARB.(1973) bestimmten nur die Größe der den linken Ventrikel versorgenden Gefäße.
Dazu wurde der linke Hauptast und der distale Anteil der rechten Koronararterie ausgemessen.

In vorliegender Arbeit wurde stets an der Stelle der größten Weite der Gefäße gemessen,unabhängig von ihrer Entfernung vom Ostium. Der Vorteil dieser Methode liegt in der Vergleichbarkeit der Maße nicht sklerotischer und sklerotischer Gefäße.
Bei der histologischen Untersuchung der Meßstellen von jeweils 90 nicht sklerotischen und sklerotischen Gefäßen zeigte sich zwar bei den meisten Segmenten der sklerotischen Koronararterien eine deutliche Arteriosklerose,die jedoch an der weitesten Stelle im Durchschnitt nur relativ gering ausgeprägt war. Die Wahl der weitesten Stelle als Meßpunkt, ergibt demnach auch für die sklerotischen Gefäße einen Meßwert, der sich der ursprünglichen Gefäßweite annähert.

Die Frage der Altersabhängigkeit der Werte nicht sklerotischer Herzkranzgefäße wurde erstmals von EHRICH u. MITARB. (1932) aufgegriffen. Sie konnten durch Messungen an Gefrierschnitten, die von postmortalen mit einem $BaSO_4$-Gelatine-Gemisch injizierten Koronararterien von 51 Herzen hergestellt wurden, feststellen, daß die Weite bis zum Alter von 40 Jahren zunimmt, um danach bis zum 7. Lebensjahrzehnt nur noch geringfügig anzusteigen.

SAGEBIEL (1935) untersuchte mit derselben Methode die Koronargefäße von 15 70-90-jährigen und fand in diesem hohen Alter keinen weiteren Anstieg der Weite.

Mit Hilfe einer Lochlehre untersuchten VOGELBERG (1957) die Weite der Koronarostien von 700 Herzen, RABE (1973) die Weite von 2 mm breiten Gefäßsegmenten von 514 Herzen. Beide Autoren konnten eine Zunahme der Herzkranzgefäßweite im höheren Lebensalter nicht feststellen. PAULSEN u. MITARB. (1975), die in ihre Untersuchung 400 Herzen einbezogen, konnten dies für die Größe der Koronarostien bestätigen. ROESSLE u. ROULET (1932) fanden bei den Umfangmessungen der Herzkranzgefäße von 64 menschlichen Herzen eine Weitenzunahme bis zum 20. Lebensjahr, während die Weite im höheren Alter konstant bleibt.
NEUFELD u. MITARB. (1962) dagegen bestätigen anhand von Messungen des äußeren Durchmessers der Koronararterien von 100 Herzen, die von Personen bis zum Alter von 40 Jahren stammen, die Ergebnisse von EHRICH u. MITARB (1932), denen zufolge eine Größenzunahme bis zu diesem Alter stattfindet.
An intravitalen Koronarangiographien von 90 Patienten untersuchten lediglich MAC ALPIN u. MITARB. (1973) die Altersabhängigkeit der Herzkranzarterienweite. Eine mit dem Alter korrelierte signifikante Größenänderung der Herzkranzarterien konnten sie nicht feststellen.

Auch diejenigen Autoren, die als Maß der Größe der Koronargefäße nicht deren Durchmesser oder Umfang heranzogen, lehnen auf Grund ihrer Meßergebnisse einen Einfluß des Alters auf die Größe der Kranzarterie ab. Dies gilt für RODRIGUEZ u. ROBBINS (1959), die die Kapazität des Koronargefäßbaums von 100 Herzen nach der Menge des injizierten Kontrastmittels bestimmten,

sowie für WILENS u. MITARB. (1966), die durch die Messung der gesamten inneren Oberfläche der entkalkten, fixierten und aufgeschnittenen Hauptäste weder eine Zunahme der absoluten Oberfläche noch der durch das Herzgewicht dividierten relativen Oberfläche mit höherem Alter feststellen konnten.

Mit diesen Ergebnissen stimmen die Beobachtungen der vorliegenden Arbeit überein. Die in den Abbildungen 2-9 dargestellten Histogramme zeigen zwar eine geringe Zunahme der Gesamtquerschnittsfläche der drei Koronargefäße bis zum 60. Lebensjahr, jedoch ist diese eng mit einer gleichsinnigen Änderung des Kammerteilgewichts korreliert. Die Abnahme der Koronargefäßweite im 7. und 8. Lebensjahrzehnt geht ebenfalls mit einer entsprechenden Abnahme des durchschnittlichen Kammerteilgewichtes einher.
Ein Einfluß des Alters auf die Weite der Koronargefäße läßt sich aufgrund der Ergebnisse nicht bestätigen. Statt dessen verhält sich die Gefäßweite der Herzkranzarterien innerhalb großer individueller Schwankungen ungefähr entsprechend dem zugehörigen Herzgewicht.
Im Gegensatz dazu beschrieben MILLES u. DALESSANDRO (1963) und ROSE (1967), ORLANDINI (1968) und RESTREPO (1973) eine Größenzunahme der Koronargefäßkaliber mit höherem Alter.
ORLANDINI fand bei seinen Messungen an unfixierten, der Länge nach aufgeschnittenen nicht sklerotischen Kranzgefäßen von 200 Herzen eine Zunahme des Gefäßumfanges im Lauf des Lebensalters. Dies ist als eine Folge der bereits beschriebenen im Alter abnehmenden elastischen Wandeigenschaften der Koronargefäße (KÖHLER u. KÖHLER, 1975), die beim Längsaufschneiden der Gefäße zu einer Retraktion bei jugendlichen Kranzarterien führt, zu werten.

Im Internationalen Arteriosklerosepro jekt untersuchten RESTREPO u. MITARB. (1973) 10042 Herzen ohne Koronarerkrankung unter 500 g. Sie bezogen die Weite der Herzkranzgefäße auf das Gewicht der unfixierten zugehörigen Herzen und fanden mit zunehmendem Alter eine Abnahme des Quotienten aus Herzgewicht und Gesamtquerschnittsfläche der drei Koronargefäße, was bei dem von ihnen beschriebenen steigenden Herzgewicht mit höherem Alter überproportionales Wachstum der Gefäße gegenüber dem Myokard bedeutet. Da auch in dieser Untersuchung die Koronargefäße vom Myokard abpräpariert und der Länge nach aufgeschnitten wurden, wird dieses Untersuchungsergebnis wiederum von dem elastischen Verhalten der Gefäße beeinflußt. Dies geht auch daraus hervor, daß bei vergleichbaren Herzgewichten die Gesamtquerschnittsflächen der drei Hauptäste bei RESTREPO et al. wesentlich unter den von uns gefundenen Werten liegen.
MILLES u. DALLESANDRO (1963) stellten ebenfalls mit der Methode des Längsaufschneidens der Gefäße an 159 Herzen bei älteren Erwachsenen einen größeren Umfang der Herzkranzarterien als bei jungen Erwachsenen fest. Ein Vergleich der Meßwerte mit unseren Ergebnissen ist aufgrund des Fehlens von absoluten Größenangaben nicht möglich.

ROSE (1967) stellte als einziger Autor an postmortalen Koronarangiographien eine Alterszunahme der Gefäßweite fest. Die Messungen an einem Kollektiv von 128 Herzen wurden nur an der rechten Herzkranzarterie durchgeführt. Die Bezugsgröße für Kalibermessungen an nur einer Koronararterie müßte das von ihr versorgte Myokardgebiet sein, da selbst bei gleichem Herzgewicht die Größe der rechten Kranzarterie je nach Ausdehnung des Versorgungsgebietes recht großen Schwankungen unterliegt (KALBFLEISCH u. HORT, 1975). ROSE korrelierte seine

Meßwerte nicht mit dem Herzgewicht, und es besteht daher leicht die Möglichkeit, daß die Weitenzunahme der Koronargefäße mit zunehmendem Alter auf eine altersbedingte Gewichtzunahme der Herzen im Untersuchungsgut zurückzuführen ist.

Bei der Untersuchung der Altersabhängigkeit der Gefäßweite wurde deutlich, daß die Größe der Herzkranzgefäße weitgehend vom Gewicht des Herzens abhängt. Die Abhängigkeit ist durch den erhöhten Blutbedarf der schwereren Herzen erklärbar. Es ist jedoch bis heute nocht nicht eindeutig entschieden, ob sich die Koronargefäßweite unbeschränkt dem Wachstum des Myokards anpaßt oder ob eine Grenze des Koronargefäßwachstums existiert.

Überwiegend wird die Auffassung vertreten, daß sich die Weite der Herzkranzgefäße in den Grenzen des physiologischen Myokardwachstums dem Herzgewicht anpaßt, bei weiterer Gewichtszunahme des Herzens über 500 g aber nur noch verzögert (oder gar nicht mehr) zunimmt. Danach wäre der Blutbedarf des Myokards von Herzen mit sehr hohem Gewicht durch die nicht sklerotischen Koronararterien bei maximaler Beanspruchung nicht ausreichend gedeckt. Nach der Auffassung von HERZOG u. SCHOENMACKERS (1970) würde das Herz bei einer Zunahme des Herzgewichts über 1500 g trotz des Fehlens einer stenosierenden Koronarsklerose wegen des ungenügenden Wachstums der Kranzarterien an einer Mangeldurchblutung versagen.

Das kritische Herzgewicht von 500 g wurde von LINZBACH (1947) für das Wachstum der Myokardfasern definiert. Er stellte fest, daß die Herzmuskelfasern bis zu einem Herzgewicht von 500 g an Größe zunehmen, daß sie sich bei weiterer Zunahme des Myokardgewichts aber teilen.

und daß deshalb ihr Durchmesser nicht oder nur noch wenig zunimmt. Gleichzeitig mit dieser Teilung der Herzmuskelfasern vermehrt sich die Anzahl der Kapillaren, so daß das Verhältnis von ungefähr einer Kapillare pro Myokardfaser gewahrt bleibt (HORT, 1951).
Die funktionierende Masse der Herzkranzgefäße soll nach SCHOENMACKERS (1948,1949) bei diesem kritischen Herzgewicht die größtmögliche Weite erreicht haben. Bei höheren Gewichten kommt es dann zu der relativen Koronarinsuffizienz.
Dieses Verhalten der Koronararterien stellte SCHOENMACKERS (1948) an einer Untersuchung an 1048 Herzen fest. Er bestimmte dabei die sogenannte funktionierende Masse der Media, d. h. die Kreisringfläche eines senkrecht zur Gefäßachse geschnittenen Segments der Koronararterie und fand mit steigendem Herzgewicht einen Anstieg der funktionierenden Masse bis 500 g. Bei weiterer Zunahme des Herzgewichts blieb die funktionierende Masse der Media konstant.
Ein Rückschluß von der funktionierenden Masse auf die lichte Weite der Gefäße, die für die Versorgung allein entscheidend ist, ist jedoch nicht möglich.
VOGELBERG (1957) bestätigte durch Messungen an formalinfixierten Koronarostien von 7oo Herzen diese Grenze des Koronargefäßwachstums. Auch WOODS (1961) fand an dem sehr kleinen Kollektiv von 47 Herzen, an denen er die weiteste Stelle der rechten Koronararterie an postmortalen Koronarangiogrammen maß, ebenfalls einen linearen Anstieg der Gefäßquerschnittsfläche mit der Zunahme des Myokardsgewichts des zugehörigen Versorgungsgebiets bis zu einem durchschnittlichen Grenzwert von ungefähr 15 mm^2, von dem ab die Arteria coronaria dextra trotz weiterer Gewichtszunahme ihres Versorgungsgebietes nicht mehr weiter wurde.

Nach anderen Autoren wachsen jedoch die Koronararterien auch bei hypertrophierten Herzen.

ARAI et al. (1968), die den Umfang der Elastica interna an histologischen Schnitten der Koronargefäße bestimmten und hieraus dann den Radius der Gefäße errechneten, fanden für die Beziehung zwischen der Summe der Radien der drei Hauptgefäße und dem zugehörigen Herzgewicht einen linearen Anstieg der Kurve auch über 500 g Herzgewicht.
Die Koronargefäße, deren Herzen eine exzentrische Hypertrophie zeigten, lagen jedoch deutlich unterhalb der berechneten Regressionsgeraden, d. h., sie besaßen ein deutlich kleineres Lumen als die Herzkranzarterien der Herzen mit konzentrischer Hypertrophie.

HARRISON und WOOD (1949) führten an 37 Herzen post-mortale Koronarangiographien durch. Nach Messung der Durchmesser der drei Hauptäste wurde die Summe der Querschnittsfläche aller drei Koronargefäße berechnet und diese zum Herzgewicht in Beziehung gesetzt. Dabei ergab der Punkteverlauf einen linearen Anstieg der Gefäßweite mit dem Myokardwachstum. Dieser Anstieg setzte sich, unabhängig von der Ursache der Herzhypertrophie, auch über einem Herzgewicht von 500 g fort. Sowohl die durch eine Hypertonie als auch die durch einen Klappenfehler hypertrophierten Herzen hatten gleichermaßen weite Kranzgefäße.

WILENS u. MITARB. (1966) fanden bei der planimetrischen Größenbestimmung der aufgeschnittenen Herzkranzgefäße einen geringgradigen Anstieg der Gefäßgröße jenseits des kritischen Herzgewichtes.

In der Untersuchung von RESTREPO et al. (1973) im Rahmen des Internationalen Arteriosklerosepro jektes wurden nur Herzen bis zu 500 g Gewicht aufgenommen. Bis zu diesem

Gewicht konnten die Autoren eine Weitenzunahme der Herzkranzgefäße feststellen.
RODRIGUEZ und ROBBINS (1959) untersuchten die Kapazität der Koronargefäße an 100 Herzen, indem sie das vom Koronargefäßbaum bei 200 mm Hg Injektionsdruck aufgenommene Volumen an $BaSO_4$-Gelatine-Gemisch bestimmten und mit dem Herzgewicht in Beziehung setzten. Zusätzlich wurden an 50 dieser Herzen die Durchmesser der drei Hauptäste ausgemessen und hieraus die Summe ihrer Querschnittsfläche errechnet. Die Kapazität der Kranzgefäße vergrößerte sich konstant mit steigendem Herzgewicht. Außerdem fanden die Autoren, daß die Gesamtquerschnittsfläche der Koronargefäße einer Gruppe von normal gewichtigen Herzen gegenüber der hypertrophierten Gruppe signifikant geringer war. Eine Aussage über das Verhalten der Kapazität und der Gesamtquerschnittsfläche über dem Herzgewicht von 500 g läßt sich wegen der geringen Zahl von Herzen dieser Gewichtsklasse jedoch nicht machen.

Auch SAGEBIEL (1935) stellte an 15 210 g bis 420 g schweren Herzen, die von 70-90-jährigen Personen stammten, eine Zunahme der lichten Weite mit steigendem Myokardgewicht fest.
Intravital durchgeführte Koronarangiographien zeigen ebenfalls die Abhängigkeit der Kranzgefäßweite von der Herzgröße.
KOBER und MITARB. (1972) setzten an einer unbekannten Anzahl von Herzen, die koronarangiographiert wurden, die Summe der Weite des linken Hauptastes und des distalen Teils der rechten Kranzarterie, die die Blutversorgung des linken Ventrikels gewährleisten, mit dem Sokolow-Lyon-Index im EKG in Beziehung. Dabei zeigte sich unabhängig von den Ursachen der Herzmuskelhypertrophie ein konstanter Weitenzuwachs der Gefäße mit der Erhöhung der Masse der Ventrikelmuskulatur.

LEWIS und GOTSMAN (1973) bestimmten ebenfalls an intravitalen Koronarangiographien den Durchmesser der Arteria coronaria sinistra und der Arteria coronaria dextra und errechneten hieraus die Querschnittsfläche der beiden Gefäße. Die Beziehung zwischen der Gesamtquerschnittsfläche und dem durch Ventrikulographie näherungsweise berechneten Gewicht des linken Ventrikels, zeigte eine enge lineare Korrelation. Die größten Herzen dieser Untersuchung hatte ein linksventrikuläres Gewicht von 500 g.
Dieser Wert dürfte etwa einem Gesamtgewicht von 700 g entsprechen.
Damit kann aus dieser Untersuchung geschlossen werden, daß auch über dem kritischen Herzgewicht die Koronargefäßweite noch zugenommen hat.
Auch MAC ALPIN et al. (1973) konnten an 90 Patienten, die sie einer Koronarangiographie unterzogen, mit Zunahme der Herzgröße ein Wachstum des Koronargefäßlumens feststellen.
Experimentelle Bestätigungen des Wachstums der Herzkranzgefäße mit zunehmendem Herzgewicht finden sich bei LEON und BLOOR (1968), KERR und MITARB. (1968) an Rattenherzen und OVERY und MITARB. (1966) an Schafsherzen.
In Übereinstimmung mit den Autoren, die die Beziehung zwischen Herz- und Koronargefäßgröße untersuchten, zeigen auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit steigendem Herzgewicht eine Zunahme der Herzkranzgefäßweite. Eine Grenze des Wachstums der Herzkranzgefäße wie sie von SCHOENMACKERS (1948), VOGELBERG (1957) und WOODS (1961) festgestellt wurde, muß ebenso abgelehnt werden, wie eine konstante lineare Beziehung zwischen der Gesamtquerschnittsfläche und dem Herzgewicht. Dagegen nimmt die Querschnittsfläche der Koronargefäße mit wachsender Herzgröße in den unteren Ge-

wichtsbereichen relativ stark zu, um in den höheren Gewichtsbereichen nur noch gering anzusteigen. Dieses Verhalten des Kurvenverlaufs, das in Abbildung 11 nur angedeutet ist, läßt sich besonders in Abbildung 30 erkennen, in der die Querschnittsfläche für R mit der Größe des Versorgungsgebietes korreliert ist.

Dieser parabolische Kurvenverlauf wird besonders in Abbildung 11 bei der Darstellung der nicht sklerotischen Koronargefäße durch die starke individuelle Streuung der Gefäßweite verdeckt. Da zunächst angenommen wurde, daß diese starke Streuung auf die Auswahl der Gruppe nicht sklerotischer Gefäße zurückzuführen sei, in die eine Reihe von Koronararterien mit geringer nicht stenosierender Sklerose einbezogen wurde, wurde in Abbildung 15 die Gefäßweiten-Kammerteilgewicht-Beziehung zusätzlich für Herzkranzgefäße ohne jede arteriosklerotische Veränderung dargestellt. Der Vergleich der Standardabweichungen beider Gruppen zeigt, daß die Streuung bei den vollständig glatten Gefäßen nur unwesentlich geringer ist.

Dagegen wird die Streuung durch die Anzahl der Gefäßäste, aus der sich die Gesamtquerschnittsfläche zusammensetzt, beeinflußt. Wird die Korrelation zum Herzgewicht von der Gesamtquerschnittsfläche aus der rechten Kranzarterie und dem linken Hauptstamm gebildet, ist sie mit $r = 0{,}73$ deutlich enger,als wenn die Gesamtquerschnittsfläche aus der linken absteigenden, der linken umschlingenden und der rechten Kranzarterie gebildet wird. Hier erreicht der Korrelationskoeffizient nur $r = 0{,}61$. Die Beziehung zwischen der versorgenden Querschnittsfläche der Herzkranzarterien und dem Myokardgewicht wird also umso schwächer, je weiter peripher die Meßpunkte der Flächenbestimmung liegen.

Das Vorhandensein eines Trifurkationsastes, dessen Querschnittsfläche stets der Fläche des Ramus descendens anterior hinzugezählt wurde, trägt ebenfalls zu der recht großen Streuung bei. Aus den Beziehungen zwischen den Querschnittsflächen der drei Hauptäste und ihren jeweiligen Versorgungsgebieten ist ersichtlich, daß die Einbeziehung des Trifurkationsastes die Streuung wesentlich erhöht. Während für den linken umschlingenden Ast und die rechte Koronararterie eine enge Korrelation besteht, ist diese beim Ramus descendes der linken Herzkranzarterie, nur gering.

Trotz dieser methodischen Einflüsse auf die Meßergebnisse läßt sich eine Streuung der Gefäßquerschnittsfläche feststellen, die das übliche biologische Maß überschreitet. Diese starke Schwankungsbreite der Herzkranzgefäßgröße konnten auch VOGELBERG (1957), WILENS und MITARB. (1966) und MAC ALPIN und MITARB. (1973) ermitteln. . Das Gleiche geht aus den Darstellungen von HARRISON und WOOD (1948), WOODS (1961), RABE (1972) und LEWIS und GOTSMAN (1973) hervor. Da die Messungen an fetalen Herzen ebenfalls erhebliche Größenunterschiede der Gefäßquerschnittsfläche bei gleichem Herzgewicht ergeben, scheint diese Schwankungsbreite hauptsächlich einer individuellen genetischen Determinierung zu entsprechen. SCHOENMACKERS (1963) weist dagegen auf die Möglichkeit exogener Einflüsse auf die Herzkranzgefäßgröße hin. Nach seinen Untersuchungen finden sich bei Erwachsenen, die im Jugendalter eine langandauernde Anämie hatten, deutlich größere Herzkranzarterien als bei solchen ohnen Anämie. Die Frage, inwieweit solche oder andere Bedingungen für die Entwicklung der Größe der Koronargefäße mitverantwortlich sind, bedarf noch eingehender Untersuchungen und kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht beantwortet werden.

Die gemeinsame Darstellung der sklerotischen und der nicht sklerotischen Gefäße in Abbildung 10 zeigt ein deutlich geringeres Lumen der sklerotischen Koronararterien, obwohl bei beiden Gruppen die Messungen an den jeweils weitesten Stellen der Lichtung durchgeführt wurden. Bei der histologischen Untersuchung von jeweils 90 Meßstellen der beiden Gruppen konnte jedoch festgestellt werden, daß auch an den Stellen mit dem größten Durchmesser meist sklerotische Veränderungen die Koronargefäße einengen.
Man darf also aus solchen Messungen nicht schließen, daß z. B. Infarktherzen primär engere Koronargefäße besitzen,als Herzen ohne koronare Erkrankungen.

WILENS und MITARB. (1966) fanden bei der planimetrischen Bestimmung der äußeren Oberfläche der Herzkranzgefäße von 401 Herzen eine umso geringere Infarktrate, je größer die Oberfläche pro Gramm Herzgewicht war. Desgleichen beschrieben MILLES und DALESSANDRO (1963) eine erhöhte Infarktrate bei den Herzen, deren Kranzarterienumfang auf das Herzgewicht bezogen, klein ist. Auch ROSE und MITARB. (1967) stellten an postmortalen Koronarangiographien bei Infarktherzen einen um 0,46 mm geringeren Durchmesser an den nicht sklerotischen Meßstellen fest. Auf die Querschnittsfläche bezogen, entspricht das einem um 30% geringeren Lumen. ALONSO und MITARB. (1972) stellten bei ihren Messungen an 40 Herzen mit großem frischem Infarkt nach postmortaler Koronarangiographie fest, daß die Durchmesser an distalen Abschnitten der Herzkranzgefäße im Mittel kleiner sind, als bei einer Kontrollgruppe von 18 gesunden Herzen.

Da in der klinischen und pathologisch-anatomischen Literatur die Weite der Koronararterien in der Regel auf das gesamte Herzgewicht bezogen wird, haben wir in Tabelle 3 ebenfalls das Gesamtgewicht des Herzens und nicht das Kammerteilgewicht als Parameter verwendet.

Herzgewicht		Durchmesser in mm an weitester Stelle von			
	n	L	LA	LU	R
300 g	13	3,60	3,68	3,13	3,63
300-399 g	27	3,68	3,72	3,57	3,79
400-499 g	26	4,27	3,83	3,40	4,05
500-599 g	15	4,31	4,09	3,62	4,53
600-699 g	18	4,40	3,98	3,76	4,38
700 g	13	5,58	4,20	3,95	4,78

Tabelle:3

Die in Tabelle 3 angegebenen Werte entsprechen sehr gut den Meßwerten, die in anderen Untersuchungen an postmortalen Koronarangiographien gefunden wurden (RODRIGUEZ und ROBBINS, 1959; ROSE und MITARB.,1967).

Auch bei HARRISON und WOOD (1949) finden sich für die Größe der Koronargefäße der Herzen bis 300 g die gleichen Werte, jedoch sind ihre Größenangaben für die Herzkranzgefäße der hypertrophierten Herzen wesentlich höher.
Der Vergleich der Durchschnittswerte dieser Arbeit mit denen, die aufgrund von Umfangmessungen an aufgeschnittenen Gefäßen gewonnen wurden, ergibt fast immer einen niedereren Durchmesser bei der letztgenannten Methode (ORLANDINI,1968; RESTREPO u. MITARB.,1973; PAULSEN u. MITARB. 1975).

Lediglich für den linken Hauptast ermittelte ORLANDINI (1968) eine größere Weite als sie in vorliegender Arbeit festgestellt werden konnte.

Damit scheint sich zu bestätigen, daß die Retraktion der Gefäße beim Aufschneiden eine Verringerung des Durchmessers zur Folge hat.
Wesentlich geringere Durchmesser ermittelten auch EHRICH u. MITARB. (1931) und SAGEBIEL (1935), die ihre Messungen an fixierten Gefrierschnitten bzw. Paraffinschnitten von injizierten Koronarien durchführten.

Weitere Durchmesser fanden dagegen VOGELBERG (1957) an den Ostien und RABE (1973) an den Ringsegmenten der Koronarien. Möglicherweise war der Druck, mit dem die Lochlehre in die zu messenden Ringe gesteckt wurde, unphysiologisch hoch, so daß sich die Koronarien während der Messungen erweiterten. Bedeutsam ist dies für Messungen an den Ostien, da SCHOENMACKERS und auch VOGELBERG an eine Ostiumbarriere glauben. Die Ostien sollen häufig enger sein als die zugehörigen Koronargefäße. Dies scheint zumindest aufgrund der Messungen von VOGELBERG fraglich.

Die Messungen der Durchmesser der Koronarien an intravitalen Koronarangiographien (LEWIS u. GOTSMAN, 1971; MAC ALPIN u. MITARB., 1973; RAFFLENBEUL u. MITARB., 1975) ergaben durchweg um 0,2 - 0,4 mm geringere Werte,als sie von uns gefunden wurden. Dies dürfte auf den intravital wirksamen Gefäßtonus zurückzuführen sein.

Die relative Gefäßweite, d. h. die Summe aller drei Querschnittsflächen pro Gramm Kammerteilgewicht, erlaubt einen weiteren Einblick in das Wachstumsverhalten der Herzkranzgefäße. Nach den vorliegenden Messungen nimmt die Gefäßquerschnittsfläche / g Kammerteilgewicht (= Q) sowohl der sklerotischen als auch der nicht sklerotischen Herzkranzgefäße mit steigendem Kammerteilgewicht ab.

Das Flächenwachstum des Gefäßquerschnitts ist damit geringer als das Wachstum des Myokards.
Zu einer entgegengesetzten Auffassung kam SAGEBIEL (1935) durch seine Messungen an 15 Altersherzen. Er fand mit zunehmendem Herzgewicht, auch die Querschnittsfläche pro Gramm Myokard erhöht.
Neben dem sehr kleinen Untersuchungsgut halten die von ihm errechneten Werte für die sogenannte korrigierte Gefäßweite (=Gefäßquerschnittsfläche/g Herzgewicht) einer rechnerischen Überprüfung mit seinen Absolutgrößen für Herzgewicht und Gefäßquerschnittsfläche nicht stand. Alle von ihm angegebenen korrigierten Gefäßweiten liegen wesentlich über den Werten, die sich aus der Division der entsprechenden Gefäßquerschnittsflächen durch die Herzgewichte errechnen.
Aus diesen Gründen kann diesem Ergebnis nicht uneingeschränkt zugestimmt werden.
Dagegen können die Ergebnisse von RABE (1972) bestätigt werden. Er fand mit zunehmender Hypertrophie eine Abnahme der Gefäßweite pro Gramm Herzgewicht.
Die von ihm ermittelten Absolutwerte liegen deutlich unter den von uns ermittelten, da sich einerseits die von ihm verwendete Querschnittsfläche nur aus den Flächen des linken Hauptstamms und der rechten Kranzarterie zusammensetzt, zum anderen sein Bezugsparameter nicht das Kammerteilgwicht, sondern das frische Herzgewicht darstellt.

Auch WILENS und MITARB. (1968) konnten feststellen, daß die Summe der äußeren Oberfläche der drei Herzkranzgefäße, bezogen auf das Herzgewicht bei hypertrophierten Herzen, deutlich unter dem normalgewichtiger Herzen liegt.

RESTREPO et al. (1973) bedienten sich des reziproken Quotienten Herzgewicht/Gefäßquerschnittsfläche, der mit zunehmendem Herzgewicht in ihrer Untersuchung anstieg. Für die Bestimmung dieses Quotienten wurden die Herzen in altersgleichen Gruppen untersucht.
Deshalb dürfte die Gefäßretraktion, die bei anderen Fragestellungen RESTREPO's zu falschen Ergebnissen führte, hier keine Rolle spielen.
MILLES und DALLESANDRO(1963), die ebenfalls den Quotienten Herzgewicht/Gefäßquerschnittsfläche als Maß für die Gefäßversorgung des Herzens nutzten, sehen bei Zunahme des Herzgewichts ebenfalls eine geringe Zunahme dieses Index.
Die Wahl der Dimensionen der Gefäßquerschnittsflächen und des Herzgewichts bewirkt den exponentiellen Kurvenverlauf in den Darstellungen zur relativen Gefäßweite.
Sie ist definiert als Gesamtquerschnittsfläche der Gefäße pro Gramm Kammerteilgwicht bzw. Herzgewicht entsprechend dem Quotienten

Wird unter Annahme der Proportionalität des Wachstums der Gefäße und des Myokards die relative Gefäßweite Q mit dem Herzgewicht korreliert, ergibt sich eine Exponentialfunktion:

$$y = \frac{x^2}{x^3} \qquad \text{bzw. } y = \frac{1}{x} .$$

Eine übersichtlichere Analyse des Wachstums der Koronargefäße und des Herzgewichts erhält man, wenn beide Parameter in der gleichen Dimension erfaßt werden.

Wenn das von einer großen Kranzarterie umschlossene Volumen im gleichen Maße wächst, wie das Volumen des Myokards und wenn beide harmonisch, d.h. unter Beibehalten ihrer Form, wachsen, so muß z. B. der Durchmesser der

Kranzarterie in gleicher Weise wie der Durchmesser der Muskelmasse wachsen.
Die letztere Größe haben wir nach der Formel $d = \sqrt[3]{Ktg}$ berechnet und eine sehr gute Proportionalität dieser beiden linearen Größen nachgewiesen.
Wenn man sich der Einfachheit halber vorstellt, daß das Herz nur von einer Koronararterie versorgt würde, so flöße durch dieses Gefäß nach dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz eine Blutmenge, die dem Herzgewicht proportional wäre. Es gilt die Beziehung

$$V_t = \frac{\pi r^4 \cdot dp}{8 \mu l}$$

Für $r \sim l$ gilt: $V_t \sim \frac{\pi r^3 \cdot dp}{8 \mu}$

Auf die Bedeutung der unterschiedlichen Dimensionen der Gefäßquerschnittsfläche und des Herzgewichts weisen bisher nur EHRICH u. MITARB. (1931) und SAGEBIEL (1932) hin. Sie stellten fest, daß sich die Gesamtquerschnittsfläche der Koronararterien während des physiologischen Wachstums von der Geburt bis ins hohe Alter versechsfacht bis versiebenfacht, während das Herzgewicht in dieser Zeit um das 15-fache zunimmt. Damit sei bei Berücksichtigung der Zweidimensionalität der Gefäßquerschnittsfläche und der Dreidimensionalität des Herzgewichts das Wachstum nur annähernd ausgeglichen. Es ergibt sich ihrer Meinung nach ein etwas größeres Wachstum des Herzmuskels gegenüber den Koronargefäßen. Dies führen sie auf eine Schrumpfung der Gefäße bei der Formalinfixierung zurück.
Bei Proportionalität des Flächenwachstums des Gefäßquerschnitts und des Volumenwachstums des Myokards, errechnet sich aus der Zunahme der Querschnittsfläche um das 6- bis 7-fache eine Vergrößerung des Volumens um das 14,7- bis 18,5-fache.

Somit ist der Gewichtszuwachs des Herzens um das 15-fache dem Wachstum der Gefäßquerschnittsfläche um das 6-fache angeglichen. Nimmt die Querschnittsfläche im Verlauf des physiologischen Wachstums jedoch um das 7-fache - dem in den Arbeiten genannten oberen Grenzwert - zu, so bleibt das Myokardwachstum entgegen den Angaben der Autoren deutlich hinter dem Gefäßwachstum zurück. Die Annahme einer Schrumpfung der Koronargefäße läßt sich daher aus diesen Angaben nicht ableiten.
Aufgrund unserer Untersuchung ist der von SCHOENMACKERS (1948, 1949) für die Gefäßversorgung postulierte Begriff des Kritischen Herzgewichts nicht uneingeschränkt haltbar.
Auch bei hypertrophen Herzen wächst nach unseren Untersuchungen der Koronararteriendurchmesser annähernd proportional dem Durchmesser des Myokardvolumens. Das Wachstum der Kranzarterien hält also etwa mit dem Wachstum des Myokards Schritt. Für eine ganz genaue Beantwortung dieser Frage ist aber unser Beobachtungsgut noch zu klein, und für das individuelle Herz muß auch die große Streuung der Meßwerte berücksichtigt werden, die vielleicht für hochgradig hypertrophierte Herzen mit relativ engen Koronararterien gelegentlich problematisch werden kann.

Das Wachstum der Koronararterien bei Feten- und Kinderherzen wurde bisher kaum untersucht.
Unter den Arbeiten, die sich mit der Größe der Koronargefäße beschäftigten, fand sich nur eine Untersuchung (NEUFELDT, 1962), die sich der Wachstumsentwicklung der Herzkranzgefäße vom Zeitpunkt der Geburt bis zum Erwachsenenalter widmete. Dagegen befinden sich im Untersuchungsgut anderer Autoren lediglich einige wenige

Kinderherzen (EHRICH, 1932; RÖSSLE u. ROULET,1932; DOCK,1941, VOGELBERG, 1957; RABE, 1972).
Selbst in sehr ausführlichen Darstellungen der quantitativen Anatomie des kindlichen Herzen, sind die Koronargefäße nicht berücksichtigt(ROWLATT u. MITARB.,1963; BROCK, 1954).
NEUFELDT und MITARB. (1962) konnten an Paraffinschnitten von 86 Herzen, die von Personen zwischen 0 - 39 Jahren stammten, eine konstanten Anstieg des äußeren Durchmessers der Koronararterien feststellen.
Daraus läßt sich jedoch kein sicherer Schluß auf das Wachstumsverhalten des Gefäßlumens ziehen.
EHRICH (1932) und VOGELBERG (1957) stellten pauschal ein Wachstum des inneren Gefäßdurchmessers bis zum 20. Lebensjahr fest. Die Anzahl der Kinderherzen bei den anderen oben genannten Autoren(RÖSSLE u. ROULET, 1932; RABE, 1972) ist jedoch zu gering, um aussagefähig zu sein.
Bei den 25 untersuchten fetalen und Kinderherzen zeigte sich in unserem Beobachtungsgut ein linearer Anstieg der Gefäßweite mit steigendem Kammerteilgewicht. Die statistisch errechnete Streuung liegt deutlich unter der von erwachsenen Herzen. Jedoch fällt bereits bei den fetalen Herzen auf, daß bei gleichem Kammerteilgewicht die Gesamtquerschnittsflächen der Koronararterien erheblich schwanken können, maximal um das Dreifache. Möglicherweise ist die starke individuelle Schwankungsbreite des Koronargefäßlumens bereits im embryonalen Stadium der Entwicklung determiniert. Trotzdem ist die im Erwachsenenalter erreichte Koronargefäßgröße noch während der Entwicklung beeinflußbar. SCHOENMACKERS (1963) berichtet, daß eine Anämie bei Jugendlichen eine deutlich bessere Vaskularisation im späteren Erwachsenenalter bedingt.

GROSSE-BROCKHOFF (1969) schildert das Beispiel eines 69-jährigen Marathonläufers, der an einem Rectum-Carcinom verstarb. Sein Herzgewicht lag an der oberen Grenze der Norm, die Koronararterien dagegen waren dreimal weiter als bei normalgewichtigen Herzen.
Auch durch experimentelle Untersuchungen an Ratten (STEVENSON u. MITARB., 1964) konnte bestätigt werden, daß durch Training bei gleichbleibendem Herzgewicht, das Gewicht eines Ausgußpräparates des Koronargefäßlumens deutlich zunimmt.
Wird die Gefäßquerschnittsfläche der Kinderherzen auf das Kammerteilgewicht bezogen, zeigt sich wie bei den Erwachsenenherzen, ein exponentieller Verlauf der Kurve. Die der Kinderherzen, liegen jedoch deutlich über den der Erwachsenenherzen. Die einem Gramm Kammermyokard zur Verfügung stehende Fläche, ist bei den fetalen Herzen durchschnittlich siebenmal höher als bei den schwersten Erwachsenenherzen.

Die Beziehung zwischen der Weite der Koronargefäße und dem zugehörigen Versorgungsgebiet des Myokards wurde bisher nur ungenügend untersucht.
STELMASIAK (1972) erkannte bei seinen Studien an Ausgußpräparaten des Koronargefäßbaums menschlicher Herzen eine Abhängigkeit der Herzkranzgefäßgröße vom Versorgungsgebiet, konnte dies jedoch nicht mit quantitativen Messungen belegen.

OVERY (1966) fand bei dem Wachstum des rechten Ventrikels von Lämmer- und Schafsherzen nach experimenteller Pulmonalstenose eine der Gewichtszunahme des rechten Ventrikels entsprechendes Wachstum der Weite der Arteria coronaria dextra.

Auch WOODS (1961) beschränkte sich bei seinen Untersuchungen auf die rechte Herzkranzarterie und ihr Versorgungsgebiet. Dabei paßte sich die Arterie in der

Größe dem myokardialen Versorgungsgebiet bis zu einem Grenzwert von durchschnittlich 16 mm^2 an.
Danach konnte er keine Weitenzunahme der rechten Koronararterie trotz weiteren Wachstums des Versorgungsgebietes feststellen. Damit entspricht sein Untersuchungsergebnis für das Versorgungsgebiet dem von SCHOENMACKERS (1948,1949) für die Gefäßversorgung des gesamten Herzmuskels postulierten Kritischen Herzgewichts.
Dagegen geht aus unseren Untersuchungen hervor, daß bei allen drei Gefäßen ihre Weite bis zu einer Größe von 1000 Myokardflächeneinheiten,gleichmäßig ansteigt.
Bei einer Größe des Versorgungsgebietes über 1000 Einheiten läßt sich für LA kein weiterer Anstieg oder sogar ein Abfall der Gefäßweite erkennen. Dies könnte jedoch mit der Einbeziehung des Trifurkationsastes und seines Versorgungsgebietes zusammenhängen.
Am deutlichsten ist der Kurvenverlauf an der rechten Herzkranzarterie zu erkennen. Hier zeigt sich deutlich ein steiler Anstieg im Bereich kleiner Versorgungsgebiete. Wird der versorgte Myokardteil größer, flacht die Kurve zunehmend ab.
Die sklerotischen Gefäße zeigen einen deutlich flacheren Kurvenverlauf, als die nicht sklerotischen.
Zudem liegt die Streuung der Werte der Gefäßquerschnittsfläche sehr viel höher. Die Darstellung der Beziehung zwischen Einzelgefäß und Versorgungsgebiet hat gegenüber der Berücksichtigung der Gesamtquerschnittsfläche den Vorteil einer strengeren Korrelation, da sich die individuellen Schwankungsbreiten der Kranzgefäßweite summieren.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Von den im Pathologischen Institut der Universität Marburg postmortal angiographierten Herzen wurden 300 Herzen mit nicht sklerotischen und sklerotischen Herzkranzgefäßen von Feten ab der 24. Schwangerschaftswoche, Kindern und Erwachsenen bis zu einem Lebensalter von 86 Jahren in die Untersuchung aufgenommen.
An den Röntgenbildern wurden jeweils die weitesten Stellen der Arteria coronaria sinistra, des Ramus descendens anterior, des Ramus circumflexus, eines eventuell vorhandenen Trifurkationsastes und der Arteria coronaria dextra mit Hilfe einer Meßlupe mit ± 0,1 mm Genauigkeit ausgemessen. Aus den Gefäßdurchmessern wurden die Querschnittsflächen der Kranzgefäße berechnet und die versorgende Gesamtquerschnittsfläche als Summe der Querschnittsfläche der drei Hauptäste bzw. der rechten und linken Kranzarterie gebildet.

Es konnte gezeigt werden, daß für normalgewichtige Herzen die Koronargefäße mit zunehmendem Alter nicht unabhängig vom Kammerteilgewicht an Weite gewinnen.
Die von einigen Autoren beobachtete Weitenzunahme im höheren Alter beruht auf postmortalen Phänomenen.
Hierbei wurde die stärkere elastische Retraktionsfähigkeit jugendlicher Koronargefäße gegenüber der von Kranzarterien Erwachsener nicht berücksichtigt. Eine Weitenzunahme der Herzkranzarterien im Alter tritt nur bei gleichzeitiger Zunahme des Myokardgewichts auf.
Innerhalb einer sehr großen individuellen Streubreite nimmt die durchschnittliche Gesamtquerschnittsfläche nicht sklerotischer und sklerotischer Kranzgefäße proportional zum Kammerteilgewicht des Herzens zu. Die Beziehung

zwischen versorgender Fläche und Myokardmasse ist enger, wenn sich die Gesamtquerschnittsfläche aus Arteria coronaria dextra und sinistra zusammensetzt. Sie ist lockerer, wenn die Gesamtquerschnittsfläche aus den drei Hauptästen gebildet wird. Ein Wachstum der Koronargefäße ist auch noch über dem kritischen Herzgewicht von 500 g festzustellen.

Der Quotient aus Gesamtquerschnittsfläche und dem Kammerteilgewicht zeigt, daß trotz kontinuierlichem Zuwachs der Gefäßweite das Flächenwachstum sowohl sklerotischer als auch nicht sklerotischer Herzkranzarterien mit zunehmendem Herzgewicht hinter dem Myokardwachstum zurückbleibt.
Auch bei 25 fetalen und Kinderherzen nahm die Gefäßquerschnittsfläche mit steigendem Herzgewicht annähernd linear zu. Die relative Gefäßweite, d.h. die einem Gramm Kammerteilmyokard zur Verfügung stehende versorgende Fläche, nimmt mit steigendem Herzgewicht exponentiell ab. Die mittlere relative Gefäßweite der kleinsten fetalen Herzen ist siebenmal größer als die der schwersten Erwachsenenherzen.

Bei Berücksichtigung gleicher Dimensionen ergab sich jedoch, daß beim physiologischen und pathologischen Wachstum des Herzens der Durchmesser der Koronararterien in guter Annäherung proportional der dritten Wurzel aus dem Kammerteilgewicht zunimmt.
Das Koronararterienwachstum erfolgt demnach annähernd harmonisch mit dem Herzwachstum.

Offenbar paßt sich das Wachstum der Koronargefäße dem Myokardwachstum zwangsläufig auch jenseits des kritischen Herzgewichts von 500 g an und es muß nicht bei höchsten Herzgewichten zu einer Koronarinsuffizienz kommen.

Die Querschnittsfläche der drei Kranzarterien wurde für sklerotische und nicht sklerotische Gefäße zu der Größe ihres Versorgungsgebietes in Beziehung gesetzt. Der Größenzuwachs der Gefäßweite nicht sklerotischer Koronararterien zeigt - besonders deutlich für die rechte Koronararterie - mit zunehmender Größe des Versorgungsgebiets einen steileren Anstieg bei kleineren, einen flacheren Anstieg bei größeren Versorgungsgebieten. Bei sklerotischen Gefäßen ist ein Zuwachs bei wesentlich stärkerer Streubreite der Einzelwerte ebenfalls festzustellen.

VI. ANHANG

Regressionsgeraden und Korrelation der Diagramme für die Gesamtgruppen und für Männer und Frauen getrennt.

Abb. 11:	Gesamtgruppe:	$y = 0{,}045x+23{,}51$	$r=0{,}61$	$p = 0{,}001$
	Frauen:	$y = 0{,}046x+21{,}27$	$r=0{,}66$	$p < 0{,}001$
	Männer:	$y = 0{,}038x+28{,}37$	$r=0{,}50$	$p < 0{,}001$
Abb. 12:	Gesamtgruppe:	$y = 0{,}031x+20{,}61$	$r=0{,}34$	$p < 0{,}001$
	Frauen:	$y = 0{,}038x+17{,}26$	$r=0{,}37$	$p < 0{,}01$
	Männer:	$y = 0{,}028x+21{,}27$	$r=0{,}31$	$p < 0{,}001$
Abb. 15:	Gesamtgruppe:	$y = 0{,}039x+26{,}47$	$r=0{,}63$	$p < 0{,}001$
Abb. 17:	Gesamtgruppe:	$y = 0{,}041x+14{,}29$	$r=0{,}73$	$p < 0{,}001$
	Frauen:	$y = 0{,}028x+17{,}98$	$r=0{,}61$	$p < 0{,}001$
	Männer:	$y = 0{,}047x+12{,}55$	$r=0{,}76$	$p < 0{,}001$
Abb. 18:	Gesamtgruppe:	$y = 0{,}010x+21{,}55$	$r=0{,}16$	$p > 0{,}1$ nicht signifikant
	Frauen:	$y = 0{,}018x+17{,}21$	$r=026$	$p < 0{,}05$
	Männer:	$y = 0{,}045x+25{,}98$	$r=0{,}62$	$p < 0{,}001$
Abb. 20:	Gesamtgruppe:	$y = -0{,}00013x+0{,}165$	$r=-0{,}63$	$p < 0{,}005$
Abb. 21:	Gesamtgruppe:	$y = -0{,}00010x+0{,}126$	$r=-0{,}46$	$p < 0{,}001$
	Frauen:	$y = -0{,}00011x+0{,}125$	$r=-0{,}37$	$p < 0{,}1$
	Männer:	$y = -0{,}00011x+0{,}126$	$r=-0{,}47$	$p < 0{,}001$

Abb. 25: Gesamtgruppe: $y = 0{,}52x+0{,}12$ $r = 0{,}91$ $p < 0{,}001$

Abb. 26: Gesamtgruppe: $y = 0{,}0986x+2{,}66$ $r = 0{,}88$ $p < 0{,}001$

Abb. 27: Gesamtgruppe: $y = -0{,}0031x+0{,}375$ $r = -0{,}60$ $p < 0{,}01$

Abb. 30: Gesamtgruppe: $y = 0{,}0014x+12{,}56$ $r = 0{,}15$
nicht signifikant $p > 0{,}1$

Frauen: $y = 0{,}0082x+5{,}73$ $r = 0{,}61$ $p < 0{,}001$

Männer: $y = -0{,}0012x+17{,}48$ $r = -0{,}14$
nicht signifikant $p > 0{,}1$

Abb. 31: Gesamtgruppe: $y = 0{,}0082x+5{,}64$ $r = 0{,}56$ $p < 0{,}001$

Abb. 32: Gesamtgruppe: $y = 0{,}0077x+4{,}76$ $r = 0{,}71$ $p < 0{,}001$

Abb. 33: Gesamtgruppe: $y = 0{,}0046x+6{,}28$ $r = 0{,}44$ $p < 0{,}001$

Abb. 34: Gesamtgruppe: $y = 0{,}0025x+7{,}48$ $r = 0{,}18$ $p > 0{,}1$
nicht signifikant

Abb. 35: Gesamtgruppe: $y = 0{,}0027x+8{,}98$ $r = 0{,}273$ $p < 0{,}05$

VII. LITERATURVERZEICHNIS

1. Allela, A.: Arterielle Sauerstoffsättigung und Coronardurchblutung
Pflüg. Arch. 259, S. 422-435 (1954).

2. Alella, A.: Coronardurchblutung und Hypoxie
Pflüg. Arch. 261, S. 373-384, (1955).

3. Alonso, D.R., Carlson,R.G., Roters, F.A.,Killip,T., Lillehei,C.W.: The patency and luminal diameter of distal coronary arteries in fatal, acute myocardial infarction.
Arch. Surg. 104, S. 826-830, (1972).

4. Arai,S., Machida, A., Nakamura, T: Myocardial structures and vascularization of hypertrophied hearts.
Tohoku J. Exp. Med. 95, S. 35-54, (1968).

5. Bargmann, W., Doerr, W.:Das Herz des Menschen.
Bd. II, Thieme-Verlag, Stuttgart 1963.

6. Brock, J.: Biologische Daten für den Kinderarzt.
Bd. I, 2. Auflage. Springer-Verlag, Berin,Wien, New York, 1954.

7. Büchner, F.: Koronarinsuffizienz in alter und neuer Sicht.
Böhringer Mannheim, 1970.

8. Crainicianu, A.: Anatomische Studien über die Coronararterien und experimentelle Untersuchungen über ihre Durchgängikeit.
Virch.Arch.Path.Anat. 238, S. 1-75 (1922).

9. Documenta Geigy: Wissenschaftliche Tabellen.
Basel 1960.

10. Dock, W.: The capacity of the coronary bed in cardiac hypertrophy.
J. Exp. Med. 74 , S.177-186, (1941).

11. Ehrich,W., De la Chapelle,C., Cohn,A.E.:
Anatomical ontogeny. B:man
I. A study of the coronary arteries.
Am.J. Anat. 49, S.241-282, (1931).

12. Felix, R., Wagner, J., Pensky, W. u.a.:
Das selektive Perfusionszintigramm.
I. Grundlagen und normale Perfusionverteilung.
DMW 99, S. 2258-2261, (1974).

13. Felix,R., Wagner, J., Pensky,W. u.a.: Das selektive Perfusionsszintigramm. II. Pathologische Perfusionsverteilung.
DMW 100, S. 273-277 (1975).

14. Grosse-Brockhoff, F.: Coronarkreislauf in:
Grosse-Brockhoff Pathologische Physiologie. 2. Aufl. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1969.

15. Harrison, C.V., Wood, P.:Hypertensive and ischaemic heart disease: a comparative clinical and pathological study.
Br. Heart J. 11, S. 205-229, (1949).

16. Herzog, R., Schoenmackers, J.: Versuch einer objektiven Graduierung der Koronarsklerose Z. Kreislaufforschung 62, S. 72-90 (1970).

17. Heyden, S.: Risikofaktoren für das Herz. Ergebnisse der post-Framingham-Studien. Boehringer, Mannheim, 1974.

18. Hort, W.:(Ed). Herzinfarkt. Grundlagen und Probleme. Springer-Verlag. Berlin,Heidelberg,New York 1969.

19. Hort, W.: Quantitative Untersuchungen über die Capillarisierung des Herzmuskels im Erwachsenen- und Greisenalter,bei Hypertrophie und Hyperplasie. Virch.Arch.Path.Anat. 327, S.560-576 (1951).

20. Kalbfleisch, H.:Eine Methode zur postmortalen Größenbestimmung der Versorgungsgebiete einzelner Herzkranzgefäße. Z. Kardiologie 64, S. 987 (1975).

21. Kerr,A., Bommer,W.J.,Pilato,S.: Coronary artery enlargment in experimental cardiac hypertrophy. Am. Heart J. 75, S. 144 (1968).

22. Kober, G., Spahn, G. u.a.: Weite der großen Koronararterien im selektiven Arteriogramm bei Myokardhypertrophie. Verh. Dtsch. Ges. Kreisl. 38, S.191-193, (1972).

23. Köhler,F., Köhler, H.: Über Altersveränderungen der elastischen Wandeigenschaften menschlicher Coronararterien. Verh.Dtsch.Ges.Path. 59, S. 344-348 (1975).

24. Leon , S., Bloor, C.M.: Effects of exercise and its cessation on the heart and its blood supply. J.appl. Phys. 24, S.485-490 (1968).

25. Lewis,B.S., Gotsman, M.S.: Relation between coronary artery and left ventricular wall mass. Br. Heart J. 35, S. 1150-1153 (1973).

26. Linzbach, A. J.: Mikrometrische und histologische Analyse hypertropher menschlicher Herzen. Virch. Arch. Path. Anat. 314, S. 534-594 (1947).

27. Lüdinghausen v.,M.:Verteilungsmuster der Koronararterien und ihr Einbau in das Myokard. DMW 100, S. 2448-2451 (1975).

28. Luther, M.: Über Messungen an Koronararterien. Z. Kreislaufforschung 55, S. 186-190 (1966).

29. Mac Alpin, R.N., Abbasi,A.S., Grollman, J.H., Eber, L.: Human coronary artery size during life. Diagn.Radiol. 108, S. 567-576 (1973).

30. Michal,D., Zimmermann, W., Alber, G.: Koronarangiographie. Nürnberg 1976.

31. Milles, G., Dalessandro, W.: The relation of the circumference of the coronary arteries to the weight of the heart and to myocardial infarction and myocardial failure.
Rev.Can.Biol. 22, (1963) S. 325-327

32. Montenegro, M.R., Eggen,D.A.: Topography of atherosclerosis in the coronary arteries.
Lab. Invest. 18, S. 586-593, (1968).

33. Neufeld, H.N., Wagenvoort, C.A., Edwards, J.E.: Coronary arteries in fetuses, infants, juveniles and young adults.
Lab.Invest. 11, S. 837-844 (1962).

34. Orlandini, G.E.: La circonferenza rettificata delle arterie coronarie.
Mal. cardiovasc. 9, S. 331-361 (1968).

35. Overy,H.R., Vogel,J.H.K., Grover, R.F., Blount,S.G.: Coronary vascular development in response to increased right ventricular pressure loads.
Circ.Res. 18, S. 634-640 (1966).

36. Paulsen, S., Vetner, M., Hagerup, L.M.: Relationship between heart weight and the cross sectional arae of the coronary ostia.
Acta path.microbiol. scand. Sect. A 83, S. 429-432 (1975).

37. Rabe, D.: Kalibermessungen an den Herzkranzarterien und dem Sinus coronarius.
Bas.Res.Card. 68,S.356-379 (1973).

38. Rafflenbeul,W., Heim, R., Dzuiba,M. u.a.:
Morphometrische Untersuchungen bei Koronarangiographien.
Verh.dtsch.Ges.Kreisl. 41, S.116-120 (1975).

39. Restrepo,C., Eggen,D.A., Guzman,M.A., Tejada,C.:
Postmortem dimensions of the coronary arteries in different geographic locations.
Lab. Invest. 28, S. 244-251 (1973).

40. Rodbard, S.: Vascular caliber.
Cardiology 60, S. 4-49 (1975).

41. Rodriguez,F., Robbins,S.L.: Capacity of human coronary arteries. A postmortem study.
Circulation 19, S. 570-578 (1959).

42. Roessle, R., Roulet,F.: Maß und Zahl in der Pathologie.
Berlin und Wien 1932.

43. Rose, G.,Prineas,R.J., Mitchell, J.R.A.:
Myocardial infarcation and the intrinsic calibre of the coronary arteries
Brit. Heart J. 29, S. 548-552 (1967).

44. Rowlatt,U.F., Rimoldi,H.J.A., Lev,M:
The quantitative anatomy of the normal child's heart.
Ped.clin.North Am. 10, S.499-588 (1963).

45. Sagebiel, H.: Über die Blutversorgung des alternden Herzens.
Virch.Arch.Path.Anat. 294, S.147-158, (1935).

46. Schlesinger, M.J.: An injection plus dissection study of coronary occlusions and anastomoses.
Am.Heart J. 15, S. 528-552,(1938).

47. Schoenmackers, J.: Zur quantitativen Morphologie der Herzkranzschlagadern.
Z. Kreislauff37, S. 617-623, (1948).

48. Schoenmackers, J.: Die Herzkranzschlagadern bei arteriovenöser Hypertrophie.
Z. Kreislauff. 38, S. 321-336 ,(1949).

49. Schoenmackers, J: Koronararterien und Herzinfarkt
in: Bargmann, W., Doerr, W. 1963.

50. Stelmasiak, M. Osemlak, J.: Die gegenseitige Abhängigkeit zwischen den Herzkranzarterien und ihren Versorgungsgebieten beim Menschen.
Folia morphologica Warschau 31, S. 515-526, (1972).

51. Stevenson, J.A.F., Feleki,V.,Rechnitzer, P.
Beaton, J.R.: Effect of exercise on coronary tree size in the rat.
Circ.Res. 15, S. 265-269, (1964).

52. Van Tassel, R., Moore, R., Amplatz,K.:
Determination on the true size of coronary artery in coronary arteriography.
J.Roent.Rad.Th.Nuc.Med. 118, S.62-65, (1972).

53. Vogelberg, K.: Die Lichtungsweite der Koronarostien an normalen und hypertrophen Herzen.
Z. Kreislauff. 46, S. 101-115, (1957).

54. Wilens, S.L., Plair, C.M., Henderson, D.:
Size of the major epicardial coronary arteries at necropsy.
Jama 198, S. 1325-1329, (1966).

55. Woods, J.D.: Relative ischaemia in the hypertrophied heart.
Lancet, S. 696-698, (1961).

An dieser Stelle gebührt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. med. W. H o r t für die Überlassung des Themas.

Herrn Dipl.-Psych. F.-J. Thomé sowie Herrn Günther Albrecht vom Institut für medizinische und biologische Statistik der Universität Marburg/Lahn - (Direktor: Prof.Dr. med. Ihm) danke ich für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Statistik.

Meine akademischen Lehrer waren

in Tübingen: Graumann, Staudt, Kemmler-Sack, Grell, Rieker, Hock, Hinrichsen, Arnold, Betz, Jacob, Weitzel, Weser, Tölle, Kretschmer, Lempp, Feneis, Remmer, Breuninger, Eggstein;

in Kiel: Lennert, Schwarze, Ohnesorge, Wassermann, Gärtner, Müller-Ruchholz, Bernmeier, Löhr, Semm, Luh, Gremmel;

in Marburg: Rodeck, Schleyer, Hilgermann, Oepen, Schmitz-Moormann, Siegert, Koransky, Portig, Martini, Linneweh, Dittrich, Willenbockel, Buchholz, Huch, Hamelmann, Maroske, Seidel, Straub, Welge-Lüßen, Ganz, Kleinsasser, Graul, Heß, Hort, Hamm, Hildebrandt, Klaus, Friedrich, Jacob, Lauer, Hering, Bach,Exner;

Lebenslauf

Am 26.5. 1950 wurde ich als Sohn des Statikers Walter Lichti und seiner Ehefrau Anneliese, geb. Steinmann in Karlsruhe geboren.

Nach dem Besuch der Grundschule in Mosbach/Baden von 1957 bis 1961 wechselte ich auf das Nikolaus-Kistner-Gymnasium über, an dem ich im Juni 1969 die Reifeprüfung bestand.
Im Wintersemester 1969 begann ich an der Universität Tübingen das Studium der Humanmedizin. Dort legte ich im Oktober 1972 die naturwissenschaftliche, im September 1972 die ärztliche Vorprüfung ab.
Im Sommersemester 1973 studierte ich an der Universität in Kiel. Ab Wintersemester 1973 setzte ich das Studium an der Universität Marburg/Lahn fort, wo ich im Wintersemester 1975 das Staatsexamen bestand.

Meine Medizinalassistentenzeit absolvierte ich im Pathologischen Institut, in der Medizinischen Poliklinik sowie in der Urologischen und Chirurgischen Universitätsklinik.
Seit April 1977 bin ich als Assistenzarzt im Diakonie-Krankenhaus Marburg beschäftigt.